



COURS

D'EXPLOITATION

DES MINES

10866. — PARIS, IMPRIMERIE A. LAHURE
9, rue de Fleurus, 9

COURS
D'EXPLOITATION
DES MINES

PAR

M. HATON DE LA GOUPILLIÈRE
Membre de l'Institut
Ingénieur en chef des mines
Professeur d'exploitation des mines et machines
à l'École supérieure des mines

TOME SECOND

PARIS
Vve CH. DUNOD, ÉDITEUR
LIBRAIRE DES CORPS DES PONTS ET CHAUSSÉES ET DES MINES
49, QUAI DES AUGUSTINS, 49

1885

TABLE DES MATIÈRES

SIXIÈME PARTIE — EXTRACTION

CHAPITRE XXXI. — Cables.

CHAPITRE XXXII. — Appareil d'extraction.

CHAPITRE XXXIII. — RÉGULARISATION DE L'EXTRACTION.

CHAPITRE XXXIV. — MOTEUR D'EXTRACTION.

CHAPITRE XXXV. — EXTRACTION PNEUMATIQUE.

CHAPITRE XXXVI. — Moyens divers d'extraction.

SEPTIÈME PARTIE — ÉPUISEMENT

CHAPITRE XXXVII. — Aménagement des eaux.

CHAPITRE XXXVIII. — Pompes de mine.

CHAPITRE XXXIX. — Moteur d'épuisement.

HUITIÈME PARTIE — AÉRAGE

CHAPITRE XLIV. — VENTILATEURS.

CHAPITRE XLV. — Aérage sans machines.

NEUVIÈME PARTIE — SERVICES DIVERS

CHAPITRE XLVI. — Éclairage.

CHAPITRE XLVII. — COUPS DE FEU.

CHAPITRE XLVIII. — Accidents divers.

CHAPITRE XLIX. — Personnel.

CHAPITRE L. — DESCENDERIES.

DIXIÈME PARTIE — PRÉPARATION MÉCANIQUE DES MINERAIS

CHAPITRE LI. — TRAVAIL A LA MAIN, BROYAGE, CLASSEMENT.

CHAPITRE LIII. — LAVAGE SUR LES TABLES.

CHAPITRE LIV. — ORGANISATION D'UN ATELIER.

ABRÉVIATIONS

Les publications qui sont citées le plus fréquemment dans cet ouvrage ont été désignées par les abréviations suivantes :

Annales, 2ᵉ, IV, 27.	=	*Annales des Mines*, seconde série, tome IV, page 27.
Bull. min., 2ᵉ, IV, 27.	=	*Bulletin de la Société de l'industrie minérale de Saint-Étienne*, seconde série, tome IV, page 27.
CRM, janvier 1878, 27.	=	*Compte rendu mensuel des séances de la Société de l'industrie minérale de Saint-Étienne*, janvier 1878, page 27.
Rev. univ. d. m. et u., 2ᵉ, IV, 27. .	=	*Revue universelle des mines et des usines*. *Cuyper*, seconde série, tome IV, page 27.
Bull. Soc. d'enc., 2ᵉ, IV, 27.	=	*Bulletin de la Société d'encouragement pour l'industrie nationale*, seconde série, tome IV, page 27.
Zeitschrift BHS, IV, 27.	=	*Zeitschrift für das Berg-, Hütten- und Salinenwesen im Preussischen Staate*, tome IV, page 27.
Transact. NEI, IV, 27.	=	*Transactions of the North of England Institute of mining and mechanical Engineers*, tome IV, page 27.
PA, Angl. 27. — *PA*, Allem. 27. — *PA*, Belg. 27.	=	Pernolet et Aguillon, *Rapport de mission fait à la Commission chargée de l'étude des moyens propres à prévenir les explosions de grisou dans les houillères*, Angleterre, *ou* Allemagne, *ou* Belgique, page 27.
Pièces annexées, etc. 2ᵉ fasc., p. 27. .	=	Pièces annexées aux procès-verbaux des séances de la Commission chargée de l'étude des moyens propres à prévenir les explosions du grisou dans les houillères, second fascicule, page 27.

COURS
D'EXPLOITATION
DES MINES

SIXIÈME PARTIE
EXTRACTION

CHAPITRE XXXI
CABLES

—

§ 1
FORME DU CABLE

717 — Dans le premier volume de ce cours, nous avons divisé en deux parties la question du transport des corps solides, suivant que la trajectoire présente, ou non, une composante horizontale. Le premier cas constitue le problème du roulage, et, au point où il nous a conduits, avec les tractions mécaniques sur des pentes redressées ou dans des puits inclinés, il n'y a plus qu'un pas à franchir pour passer, par la pensée, dans le domaine de l'extraction proprement dite. La trajectoire devient alors rigoureusement verticale, et le câble supporte, non plus seulement une composante, mais la tota-

lité du poids de l'enlevage; tandis qu'inversement le chemin de fer, réduit au simple rôle de guide et non plus de support, n'a plus à résister qu'aux efforts accidentels de déplacement latéral. Parmi les autres organes, plusieurs subsistent encore, plus ou moins modifiés, en même temps que de nouveaux éléments s'ajoutent aux précédents, pour constituer, par leur ensemble, l'une des machines les plus remarquables et les plus perfectionnées qu'ait produites l'industrie humaine.

Nous diviserons son étude en deux parties distinctes. La première sera consacrée à l'appareil élévatoire proprement dit, en l'envisageant indépendamment du moteur destiné à l'actionner. Dans la seconde, nous nous occuperons de la machine motrice d'extraction.

L'organe essentiel du système élévatoire est le câble. Son importance est telle, que nous lui consacrerons la totalité du présent chapitre [1].

Il convient d'envisager successivement dans le câble la forme géométrique et la substance qui le constitue.

Au point de vue géométrique, on peut distinguer quatre types essentiels : le câble rond, le câble plat, le câble diminué, la chaîne.

718 — *Câble rond.* — L'unité fondamentale est, suivant les cas, le *fil de caret* formé par la torsion directe des fibres végétales, ou le *fil métallique* étiré à la filière. Un certain nombre de ces fils élémen-

[1] Aguillon, Rapport de la Commission des câbles (*Annales*, 7e, XX, 373), excellent travail qui a été mis à contribution d'une manière particulière. — Circulaire ministérielle du 16 août 1878, et questionnaire pour l'enquête sur les câbles de mines.— Notice sur les charbonnages de la Société John Cockerill, Liège, 1878. — *Bull. min.*, 1re, IV, 337, Villiers, Expériences sur l'emploi des câbles; 575, Thormann, Expériences sur l'emploi des câbles; V, 676, Chansselle, Câbles de Firminy; VII, 347, Leseurre, Expériences sur l'emploi des câbles; XI, 1, Mathet, Notice et résultats d'expériences sur l'emploi des câbles; 2e, II, 104, Devillaine, Résultats d'expériences sur l'emploi des câbles; III, 577, Terraillon, Notes et observations sur l'emploi des câbles plats en fer; 745, Pinel, Note sur les câbles; VII, 799, Chansselle; IX, 696, Garcenot, Étude sur les câbles; XI, 1035, Saut. Sur l'emploi des câbles métalliques dans les mines. — *CRM*, 1879, janvier, 12, Considère; juin, 8, Chansselle; 1881, 52, Menessier; 1882, 81, Baretta. — *Journal des Mines*, 1878, 758, 791. — *Revue industrielle*, 1881, 229, 242, Garcenot. — *Rev. univ. d. m. et u.*, 1re, 1869, 406; XXIX, 193; XXXIII, 112; XXXIV, 1, Dwelshauvers Dery; 2e, I, 513, Van Scherpenzeel Thym; IV, 191, Passeleck. — Von Hauer, *Die Fordermaschinen der Bergwerke.* — *Zeitschrift BHS*, XX, 242, Riehn, Ueber Berechnung der Forderdrathtseile und Seilkörbe; XXIX, 57. Expériences sur les câbles; XXX, 77, Wenderoth, Ueber Schachtförderseile und Seilkosten.

taires associés en hélice fournissent un *toron*. Plusieurs torons sont à leur tour tordus en hélice pour constituer le *câble* (fig. 454 et 455). L'ensemble de cette opération porte le nom de *misage*, *câblage* ou *commettage*.

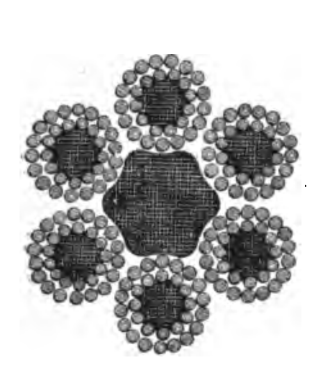


Fig. 454. Câble métallique.

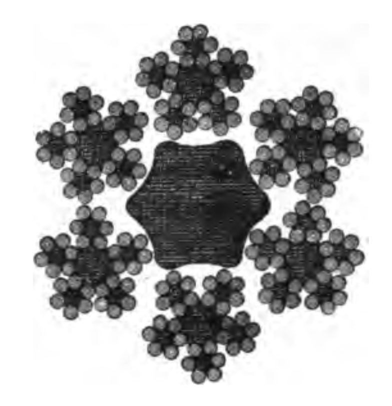


Fig. 455. Câble de Seraing.

Quand il s'agit de câbles métalliques, en vue de leur communiquer de la souplesse, on place dans l'axe, tant du toron que du câble, une *âme* en chanvre, ou même quelquefois un simple fil métallique rectiligne, d'un calibre égal ou supérieur à celui des autres. On distingue d'ailleurs deux sortes de torons, suivant que l'on entoure l'âme d'une seule enveloppe de fils, ou de deux enveloppes concentriques. Le premier type renferme en général de 6 à 9 fils, le second de 18 à 23.

Le pas de l'hélice se règle ordinairement de manière que la spire du toron dans le câble soit de 8 fois le diamètre de celui-ci, et celle du fil dans le toron de 8 ou 12 fois le diamètre de ce dernier.

Le misage a pour but de procurer une certaine unité à cette multitude de fils, qu'on ne saurait évidemment accoler les uns aux autres dans des situations rectilignes et parallèles, pour supporter la totalité de l'effort; mais, d'un autre côté, il a pour effet de diminuer, dans une certaine mesure, la résistance totale de l'ensemble à la rupture. On admet, dans l'usage, à cet égard, une perte de 5 °/₀. Il convient toutefois de remarquer que ce rapport est pris relativement à la somme théorique des résistances des fils, ou, si l'on veut,

au produit de la résistance d'un seul fil par leur nombre, lorsqu'ils sont tous égaux, résultat que l'on ne réaliserait certainement pas non plus, si l'on entreprenait de faire travailler un faisceau de fils rectilignes. Il serait, en effet, impossible de répartir la charge sur chacun d'eux d'une manière rigoureusement égale. Il pourrait arriver d'après cela que, la capacité de résistance des plus chargés se trouvant épuisée, ceux-ci viennent à rompre; après quoi, leur part de fatigue reportée sur les autres placerait ces derniers dans des conditions plus mauvaises encore. Au contraire, un misage soigné et bien exécuté par des moyens mécaniques méthodiques, doit tendre à grouper les fils dans des conditions semblables, en assurant ainsi la meilleure répartition de l'effort, et, par suite, le minimum de fatigue pour chacun des éléments.

Le misage a pour effet d'augmenter l'extensibilité. Non pas, bien entendu, que la longueur totale puisse dépasser ce qu'elle serait devenue avec la forme rectiligne, car c'est tout l'opposé, et elle lui restera, au contraire, certainement inférieure. Mais l'allongement en charge, rapporté à la longueur câblée, donnera un quotient supérieur à celui que l'on observerait sur un fil unique, en lui faisant supporter directement sa part proportionnelle de l'enlevage. Il est facile de le concevoir, puisqu'aux effets d'élasticité moléculaire, qui n'ont pas disparu, se combine une altération géométrique des hélices, qui, en se rapprochant de la forme rectiligne, augmentent la longueur de leur projection verticale.

Le misage d'un câble rond produit encore une propension au tournoiement, lorsque l'enlevage n'est pas guidé parallèlement à lui-même. Cette tendance s'exerce alors d'une manière alternative dans un sens et dans l'autre, comme sur le pendule de torsion, et constitue des oscillations rotatives très fâcheuses.

719 — *Câble plat.* — On supprime directement cette influence par l'emploi du câble plat (1). Cet organe est au précédent ce qu'un ruban est à un fil. Le câble plat est constitué d'un certain nombre de câbles ronds, appelés ***aussières***, juxtaposés côte à côte et cousus

(1) Inventé par John Curr, en 1798.

ensemble à la machine, avec du fil recuit quand il s'agit de câbles métalliques. Le nombre des aussières, toujours pair, est ordinairement égal à 4, 6 ou 8. Elles sont formées de 4 ou 6 torons, et chacun de ces derniers de 6 à 11 fils. Souvent on contrarie le sens de l'hélice dans deux aussières jointives, en vue de combattre toute tendance au gauchissement.

Cette fabrication est extrêmement délicate, car il est tout aussi important, et plus difficile encore que dans le misage direct du câble rond, d'obtenir l'égale tension de toutes les parties. Il est bon, sous ce rapport, d'exécuter la couture, en soumettant chaque aussière à une tension égale à celle qu'elle aura à supporter en travail.

720 — *Câble diminué.* — Le câble cylindrique ne saurait évidemment dépasser une certaine longueur limite, qui est indépendante de sa section, et caractéristique de chaque substance en particulier. En effet, son poids varie à la fois en raison de sa section et de sa longueur, tandis que la résistance peut être considérée comme proportionnelle à la section. Il vient donc un moment où, à force d'envisager des câbles de plus en plus longs, on amène fatalement la rupture. A la vérité, cette limite est assez élevée; mais comme, d'un autre côté, on est obligé, par prudence, de se tenir à une très grande distance du phénomène de la rupture, il n'en est pas moins vrai que l'on peut se trouver entravé avec certaines substances, pour les grandes profondeurs.

La manière de tourner cette difficulté consiste à employer le *câble d'égale résistance* (1). Imaginons, en effet, que la section augmente de bas en haut, suivant une telle loi, que le supplément de surface moléculaire, au bout d'une longueur quelconque, soit proportionnel au poids du tronçon intermédiaire. Il s'ensuivra pour les deux sections une fatigue identique par unité superficielle. De cette manière, la substance du câble travaillant également dans toute son étendue, on pourra le prolonger sur des longueurs absolument indéfinies, sans augmenter ses chances de rupture. Les conditions

(1) Il convient toutefois de remarquer, qu'en théorie du moins, il resterait toujours, pour atteindre les plus grandes profondeurs avec des câbles cylindriques, le principe des *relais*, en fractionnant, par exemple en deux reprises, l'extraction, à l'aide d'une

resteront en outre les mêmes, lorsqu'en le tronquant en un certain point, on remplacera le tronçon illimité, qui se trouverait au-dessous, par un enlevage déterminé d'un poids précisément égal à celui de ce tronçon infini. Un tel système prend, dans l'application, le nom de *câble diminué*, attendu que la section va en se rétrécissant dans la profondeur ([1]).

La détermination rigoureuse du profil d'égale résistance va être effectuée dans un instant. En pratique, on se contente ordinairement de calculer, par les formules que nous allons établir, les deux sections extrêmes, et l'on substitue une ligne droite au profil théorique qui joint ces extrémités ([2]). On obtient ainsi les *câbles coniques*. Le moyen employé dans l'application consiste à couper, à des distances constantes, un des fils dans le misage, de manière à opérer, dans la section, une contraction successive et uniforme.

On se contente même parfois d'une approximation plus grossière encore, en associant, l'une au bout de l'autre, un certain nombre de *mises* cylindriques de diamètres décroissants.

Ces aperçus conviennent du reste indifféremment aux câbles plats et aux câbles ronds. Il suffit, pour les premiers, d'associer par la couture des aussières coniques.

721 — Désignons par H la profondeur totale du puits (fig. 456). Le câble, que je suppose, pour fixer les idées, de section circulaire, a pour rayons

Fig. 456.

machine intérieure. Il est parfaitement clair que l'on se jetterait par là dans de grandes difficultés. Elles ne seraient cependant pas insurmontables, car on a établi une installation intérieure à la mine de Portes (Gard) (n° 753). Ce serait un principe analogue à celui de la subdivision de la hauteur d'épuisement en répétitions (n° 907) pour éviter des pressions inadmissibles.

([1]) M. Demanet a proposé, pour éviter la gêne qui peut être apportée dans l'enroulement de câbles ronds diminués dans des bobines (n° 756, note), de construire des câbles cylindriques de poids décroissant, en faisant varier, non plus la valeur du diamètre, mais sa répartition entre l'enveloppe métallique et l'âme en textiles. (*Rev. univ. d. m. et u.*, 2e, IV, 220.)

([2]) J'ajouterai cependant que la câblerie de Brandeiszl (Bohême) a installé un outillage capable de fournir le profil exact d'égale résistance.

extrêmes : a au contact de l'enlevage en A, et b au sommet B. Appelons r le rayon variable en M, au moment où la longueur $h = AM$ reste seule pendante, après l'enroulement sur le treuil d'extraction de la portion BM. Le problème consiste à déterminer r en fonction de h.

Si Ω désigne pour un instant la section variable πr^2, le volume d'un tronçon élémentaire de câble sera, sauf les infiniment petits du second ordre, Ωdh et son poids $\delta . \Omega dh$, si δ désigne la densité, ou, pour employer une expression plus précise : *le poids d'un mètre cube apparent de câble après misage*. Le poids total de la partie pendante sera donc :

$$\delta \int_0^h \Omega dh.$$

En y joignant le *poids utile* Q et le *poids mort* q de l'enlevage, nous obtiendrons la totalité de l'effort statique, auquel doit résister la ténacité de la substance suivant la section Ω. Appelons θ cette *ténacité par unité de surface apparente*, c'est-à-dire l'effort que l'on peut *pratiquement* faire supporter sans inconvénient par mètre carré apparent de section après misage. Nous devrons d'après cela établir l'égalité :

$$\theta \Omega = Q + q + \delta \int_0^h \Omega dh.$$

Telle est implicitement l'équation du profil du câble. Mais il reste à la ramener à une forme plus immédiatement applicable.

Cette relation donne pour cela par différentiation :

$$\theta d\Omega = \delta \Omega dh,$$

et, en séparant les variables :

$$\frac{d\Omega}{\Omega} = \frac{\delta}{\theta} dh.$$

Intégrons, en marquant par L la caractéristique des logarithmes népériens; il viendra :

$$L\Omega = \frac{\delta}{\theta} h + L\Omega_0.$$

Ω_0 désigne ici la section inférieure qui correspond, en A, à la valeur $h = 0$. On tire de là :

$$\Omega = \Omega_0 e^{\frac{\delta}{\theta} h},$$

ou, en rendant à Ω et Ω_0 leurs valeurs :

$$\Omega = \pi r^2, \qquad \Omega_0 = \pi a^2.$$

et en extrayant les racines carrées :

$$(1) \qquad r = a e^{\frac{\delta}{2\theta} h}.$$

Telle est la relation cherchée; mais elle renferme l'inconnue a. Nous devrons la déterminer directement d'après l'importance de l'enlevage, car il faut que la section inférieure πa^2 supporte immédiatement le poids $Q + q$. De là l'égalité :

$$\pi a^2 \theta = Q + q,$$

$$(2) \qquad a = \sqrt{\frac{Q + q}{\pi\theta}}.$$

Quant au second rayon extrême b, il s'obtiendra à l'aide de l'équation (1), en y faisant $h = H$, ce qui donne :

$$b = a e^{\frac{\delta}{2\theta} H}$$

$$= e^{\frac{\delta}{2\theta} H} \sqrt{\frac{Q + q}{\pi\theta}}.$$

Telles sont les deux valeurs à l'aide desquelles on construira les câbles coniques, quand on les substituera par approximation au câble logarithmique d'égale résistance.

Nous pouvons encore déduire de là le poids de la portion pendante du câble d'égale résistance, à chaque instant du mouvement. En le désignant par p, nous aurons pour sa valeur :

$$p = \delta \int_o^h \pi r^2 dh$$

$$= \delta \pi a^2 \int_o^h e^{\frac{\delta}{\theta} h} dh$$

$$= (Q + q) \frac{\delta}{\theta} \int_o^h e^{\frac{\delta}{\theta} h} dh$$

$$= (Q + q) (e^{\frac{\delta}{\theta} h} - 1).$$

On aura, en particulier, pour le poids total P du câble :

$$P = (Q + q) (e^{\frac{\delta}{\theta} H} - 1).$$

722 — Je citerai, comme exemples de câbles diminués, les deux applications suivantes (¹), dont la première se rapporte à un câble plat en aloès (²), et la seconde à un câble rond en acier (³) :

Profondeur	800^m	576^m
Longueur du câble.	900^m	663^m
Dimensions du gros bout	$0^m,315$	$0^m,041$
	$0^m,050$	$0^m,041$

(¹) On peut consulter aussi (*CRM*, 1878, 127) la description du câble de Saint-Vincent (Montchanin), par M. Ollier.

(²) Puits Campagne (Sacré-Madame).

(³) Pemberton (Lancashire).

Dimensions du petit bout		0m,193 / 0m,037	0m,032 / 0m,032
Poids moyen par mètre.		8kg,98	4kg,88
Poids total du câble		8 083kg	3 288kg
Charge utile suspendue.		2 700kg	2 226kg
Charge totale suspendue		6 500kg	4 986kg
Charge par centimètre carré	au petit bout.	91kg	1 000kg
	à la molette .	85kg	1 580kg

723 — *Chaîne.* — Les chaînes [1] ne sont plus employées aujourd'hui que dans de rares exceptions. On en a conservé l'usage dans certaines mines de Cornwall, et nous n'en parlerons ici que pour mémoire.

Elles sont sujettes à rompre brusquement. Le métal s'aigrit et cristallise. Sur quelques sièges d'extraction, on les recuit au rouge tous les six mois. Elles s'étirent et s'allongent par la déformation progressive des chaînons.

Elles sont utiles, lorsque les eaux sont très corrosives, et souvent on en dispose, à la patte des câbles, un tronçon d'une certaine longueur, destiné à reposer sur le toit des cages ou à plonger dans le puisard.

On rencontre dans l'industrie bien des modèles de chaînes ; mais, dans les mines, on n'emploie que celle dont les maillons sont situés alternativement dans deux plans rectangulaires. Ces maillons sont elliptiques, ou formés de deux droites parallèles reliées aux extrémités par deux demi-cercles. Ils doivent être soudés sur le côté, jamais aux bouts. Il est bon que la longueur ne laisse à l'intérieur que l'emplacement des deux maillons adjacents, afin d'éviter les chocs qui, sans cela, se produisent au moment où la chaîne se met en tension.

Les chaînes d'extraction sont très lourdes, et pèsent jusqu'à 20 kilogrammes au mètre courant.

[1] Buquet, *Fabrication et réception des chaînes.* — Chaînes sans soudure, système David et Damoiseau. (*Rev. univ. d. m. et u.*, 2e, II.)

§ 2

MATÉRIAUX DES CABLES

724 — *Généralités.* — Les câbles se divisent en deux catégories essentielles, suivant qu'ils sont formés de matières végétales ou métalliques.

Les textiles ont une densité beaucoup moindre que les métaux, et se prêtent mieux, par cela seul, à la régularisation de l'extraction, d'après les théories que nous développerons plus loin (chap. XXXIII, § 5), et qui sont fondées sur l'influence de l'épaisseur du câble à résistance égale. On peut régulariser, avec l'aloès, jusqu'à 800 et 900 mètres de profondeur.

Les fibres végétales ne cèdent pas sans avertir. En général, les câbles s'effilochent, et indiquent par leur mauvaise apparence leur état de fatigue intérieure. Les métaux rompent d'une manière plus inopinée. Cependant ce reproche est ordinairement formulé d'une manière trop absolue. Un examen minutieux est, à la vérité, nécessaire à cet égard et doit être fait soigneusement tous les jours, ou, au moins, toutes les semaines. On fait, pour cela, dérouler lentement le câble devant les yeux, en comptant les fils cassés. Quelquefois on le laisse frotter le long d'une règle, pour que les petits tronçons qui font saillie au dehors s'accrochent en passant, de manière à attirer l'attention. Dans le pays de Galles, on nettoie à fond le câble, une ou deux fois par semaine, pour relever soigneusement les fils cassés, opération qui exige trois ou quatre heures. On la répète, en particulier, toutes les fois que le câble a subi un choc exceptionnel.

Les *épissures*, c'est-à-dire la réunion bout à bout des tronçons de câbles, sont plus glissantes avec les métaux qu'avec les matières végétales. Jamais ces épissures ne doivent être faites par simple juxtaposition. Il faut décâbler et recâbler en rajustant les fils ensemble, après les avoir amincis, ou en avoir supprimé un sur deux. On entoure l'épissure d'une forte ficelle jusque sur la partie vierge de chaque côté, et l'on termine cette ligature par des nœuds d'artificier. Cette portion du câble devient alors aussi résistante à la trac-

tion que le reste, mais elle manque de flexibilité pour l'enroulement. La longueur de l'épissure doit être largement suffisante. On la voit, suivant les circonstances, varier de 1m,50 à 6 mètres.

L'emploi des câbles végétaux a pris une grande extension en Belgique, où les textiles ont toujours formé la base d'une industrie considérable, et où les puits sont souvent humides. Les câbles métalliques dominent complètement en Angleterre, où la métallurgie a toujours eu tant d'importance, et où un grand nombre de puits sont chauds. Les câbles d'acier figurent presque exclusivement dans le bassin de Westphalie, qui renferme un des principaux centres de production de ce métal. La France présente, en ce qui concerne cette répartition, une assez grande variété. Cependant les textiles dominent dans le Nord et l'Est, les câbles métalliques dans l'Ouest et le Midi. La puissante compagnie d'Anzin n'emploie ces derniers qu'à l'état de câbles plats. Dans le Gard, les câbles ronds prennent une grande importance.

L'aloès s'indique naturellement pour les puits humides et l'épuisement par les bennes. Le chanvre y conviendrait très mal. Tous les deux doivent être bannis des puits de retour d'air, ou de température élevée. Les câbles métalliques y prennent la prépondérance, bien que ces conditions continuent d'être défavorables à leur âme en chanvre. L'emploi des textiles diminue l'infériorité du câble plat sur la section ronde.

Le prix de l'aloès est d'environ 1 franc par kilogramme de câble. Pour les métaux, on peut admettre, avec de gros câbles et sauf certains écarts, les prix suivants :

	Câbles ronds.	Câbles plats.
Fer	0f,73	0f,95
Acier au creuset	1f,13	1f,49
Acier plough [1].	1f,84	2f,25

Je terminerai ces généralités en caractérisant la comparaison des diverses formes et des différentes substances employées pour la fabrication des câbles, par un exemple calculé pour un enlevage de 3100 kilogrammes à 1000 mètres de profondeur [2] :

[1] Ou de charrue.
[2] *Rev. univ. d. m. et u.*, 1re, XXXIII, 86.

FORME LONGITUDINALE	POIDS TOTAL			POIDS MOYEN PAR MÈTRE			PRIX DU CABLE		
	ROND — Acier	PLAT — Acier	PLAT — Aloès	ROND — Acier	PLAT — Acier	PLAT — Aloès	ROND — Acier	PLAT — Acier	PLAT — Aloès
	kilogr.	kilogr.	kilogr.	kilogr.	kilogr.	kilogr.	francs	francs	francs
Cylindrique	6 300	23 000	impossible	6,30	23,00	impossible	9 450	41 400	impossible
Mises cylindriques.	3 060	4 650	9 817	3,06	4,65	9,82	4 590	8 370	15 697
Conique	2 508	3 563	8 658	2,51	3,56	8,66	3 762	6 413	13 853

Quant aux résultats effectifs du choix des diverses sortes, on peut citer l'exemple du district minier de Dortmund ([1]). Sur 1992 câbles neufs employés de 1872 à 1882, il y a eu 172 ruptures, qui se sont réparties de la manière suivante :

CABLES		NOMBRE DE CABLES EN SERVICE	RUPTURES	
SUBSTANCE	FORME		NOMBRE ABSOLU	PROPORTION en centièmes
Chanvre.	Plats.	8	»	»
Aloès.	Id.	67	6	8,96
Fer.	Id.	176	18	12,33
Id.	Ronds.	773	97	12,55
Acier.	Plats.	157	16	10,19
Id.	Ronds.	841	35	4,16

725 — *Chanvre.* — Parmi les textiles, le chanvre a été le plus anciennement employé. Il ne convient toutefois que pour les puits secs. Dans l'humidité, il est au moins nécessaire de l'imprégner périodiquement de suif bouillant. Le chanvre craint beaucoup le mauvais air, dans lequel il se corrompt comme les bois de mine (tome I, page 249). Si l'extraction, contrairement aux règles ordinaires, est installée dans un puits de retour d'air, il faut recourir à l'emploi des câbles métalliques.

On augmente la durée par le goudronnage. On peut goudronner directement en fil, ou en corde après misage. Le premier mode est le plus efficace. La quantité de goudron fixée par les fibres végétales se règle d'après la vitesse avec laquelle on fait passer le fil dans un bain de goudron, qu'on l'assujettit à traverser au moyen d'un système de rouleaux de renvoi. Il faut tenir la main à ce que la proportion ne dépasse pas 20 °/₀. On recommande de laisser ensuite reposer le câble pendant six mois, ou même un an, entre le moment de la fabrication et celui de la mise en service. L'assimilation plus complète

([1]) *CRM*, 1884, 87

du goudron dans ces conditions assure un supplément de durée, que certaines observations ont conduit l'Amirauté anglaise à évaluer à 10 %. Il est d'ailleurs toujours bon d'avoir, sur le carreau d'une mine, un ou deux câbles en avance, pour éviter tout chômage en cas de circonstances imprévues.

La variabilité de la proportion de goudron est de nature à jeter une certaine incertitude sur les coefficients de résistance. Dans le district de Dortmund (Westphalie), on indique pour l'enlevage total, y compris le poids du câble lui-même, les chiffres comparatifs suivants : 985 fois le poids du mètre courant, pour le chanvre non goudronné, et 827 seulement s'il est goudronné ; ou, sous une autre forme : 95 kilogrammes par *centimètre* carré de section dans le premier cas, et 76 dans le second. Ces chiffres fixes ne sauraient évidemment convenir également pour les divers degrés de teneur en goudron, et ils présentent quelque danger au point de vue des efforts accidentels et imprévus.

Cette double forme de calcul dérive de deux anciennes règles : celle de Cabany, qui donne pour limite de l'enlevage total, y compris le câble, un nombre de tonnes égal au nombre de kilogrammes compris dans le poids du mètre courant ; et la règle de De Mot, qui restreint cet enlevage à 75 ou 80 kilogrammes par centimètre carré, afin de se donner un coefficient de sécurité suffisant. Le coefficient de rupture varie, en effet, entre 400 et 600, ou même 650 kilogrammes par *centimètre* carré [1]. Mais on doit s'attacher plutôt à la limite inférieure, car ces chiffres, très hétérogènes, dépendent essentiellement du choix des matières premières, dont la variabilité peut conduire aux plus graves mécomptes dans une matière aussi dangereuse.

Quant au *poids spécifique apparent*, on admet 1000 à 1200 kilogrammes par mètre cube après misage.

726 — *Aloès*. — On désigne sous ce nom la fibre de l'*aloès-pitte*, appelée encore *abaga*, *agave d'Amérique*, ou *chanvre de Manille* [2].

[1] Callon, *Traité d'exploitation des mines* (t. II, p. 194). — Aguillon, rapport de la Commission des câbles (*Annales*, 7e, XX, 378).

[2] Cornut, Renseignements pratiques sur les transmissions par câbles en aloès (*septième*

L'humidité lui est particulièrement favorable, circonstance intéressante pour l'application à la plupart des mines. On a même soin d'arroser les câbles, dans les puits chauds et secs. La gelée rendant les fibres cassantes, on fait parfois, pendant les temps rigoureux, passer les câbles au-dessus d'un foyer. L'aloès est moins attaqué que le chanvre par le goudron.

Son poids spécifique apparent est à peu près de 1000 kilogrammes. Sa résistance à la rupture est très grande. On annonce 600 kilogrammes par *centimètre* carré, et même 800 pour des matériaux de choix [1]. En revanche ce coefficient est parfois réduit à la moitié de ce dernier maximum. Il est prudent de se tenir à peu près à la même limite pratique que pour le chanvre, à savoir 75 à 80 kilogrammes par *centimètre* carré. L'Oberbergamt de Dortmund a indiqué, dans les conditions respectives que nous avons citées ci-dessus pour le chanvre, les chiffres suivants : 942, 791, 110 et 88 kilogrammes.

727 — *Fer.* — En ce qui concerne les câbles en fil de fer [2], il est inutile de dire que l'on ne doit employer pour leur fabrication que des métaux de choix, de Berry ou de Comté, et des meilleures marques. Pour les câbles ronds, on prend les fils n°s 12 à 18 de la jauge de Paris ($1^{mm},5$ à $3^{mm},4$); pour les câbles plats, les n°s 13 à 15 ($2^{mm},0$ à $2^{mm},2$) [3]. On doit essayer les fils individuellement. Les fils n° 12 résistent ordinairement à une charge de rupture de 70 à 75 kilogrammes par *millimètre* carré, et le n° 18, de 55 à 60 kilogrammes. Ces chiffres sont bien supérieurs à ce que l'on demande aux fers employés dans les constructions, ce qui tient d'une part à leur meilleure nature, et, en outre, au supplément de ténacité que

Congrès des ingénieurs en chef des associations de propriétaires d'appareils à vapeur, Bordeaux. 1882, p. 138). — Alfred Renouard ; le chanvre de Manille ou abaga (*Génie civil*, IV, 356).

(1) Journal *Le Charbon*, 25 novembre 1879.

(2) Les câbles en fer, introduits au Hartz en 1832 par l'oberbergrath Albert, avaient été déjà essayés peu de temps auparavant à Rive-de-Gier.

(3) MM. Felten et Guillaume de Cologne ont proposé, avec beaucoup d'à-propos, de substituer aux jauges variables, et parfois inverses, des divers pays, un mode international de numérotage uniforme, exprimant le diamètre en *dixièmes de millimètre*. De cette manière, le n° 15, pour prendre un exemple, désignerait un fil de $1^{mm},5$ de diamètre.

procure le passage à la filière. On s'impose, en revanche, un coefficient de sécurité plus accusé, qui est ordinairement de 1/10, bien qu'on le porte parfois à 1/6, avec des câbles minces et très simples, pour lesquels on peut se croire plus assuré d'une plus grande uniformité de tension. Callon indique, sous une autre forme, pour le rapport de la limite de prudence au poids du mètre courant, les nombres 1000 à 1200.

L'allongement à la rupture est habituellement de 0,50 à 1,00 %. Mais ces chiffres ne présentent aucune valeur, si l'on ne fait pas, en même temps, connaître la longueur du tronçon sur lequel on les mesure. Il semble cependant, au premier abord, que cette donnée doive être indifférente, pour un élément essentiellement proportionnel. Cela serait vrai, en effet, si toutes les parties du câble pouvaient se mettre en équilibre de tension, mais il n'en est rien. La déformation n'a pas le temps de se transmettre à toutes distances, et il devient nécessaire d'indiquer celle qui est adoptée dans les expériences. C'est, en général, sur une longueur de $0^m,20$ ou $0^m,25$ que l'on effectue cette mesure.

Un troisième élément d'appréciation est la souplesse. On la caractérise par le nombre de repliements, soit à angle droit, soit à 180°, que l'on peut faire subir au fil, avant de déterminer sa rupture. Ce chiffre atteint en général 15 ou 16 angles droits, pour le fil n° 14 replié sur une arête arrondie de 5 millimètres de rayon. Il ne faut pas manquer, en effet, de faire également connaître le rayon de courbure employé dans ces flexions. Souvent on emploie, pour cela, le propre rayon du fil.

Avec le temps, les constantes arrivent à se modifier, pour un métal donné. Il devient aigre, cristallin et perd de ses qualités. L'état vibratoire semble activer cette détérioration. Certains exploitants ont annoncé une diminution allant jusqu'au tiers de la résistance, au bout d'une année.

On distingue deux sortes de fils de fer : les fils *clairs* et les fils *recuits*. Pour les câbles de mines, on n'emploie que le fil clair. On a essayé à plusieurs reprises le fer recuit, mais on y a toujours rapidement renoncé. L'influence du recuit, pour les métaux dérivés du fer pur, a toujours ce double résultat de diminuer la résistance

et d'augmenter l'allongement élastique. La trempe produit des effets inverses. Nous examinerons bientôt la balance qu'il convient d'établir entre ces tendances, en ce qui concerne l'acier. Mais, pour le fer, qui ne présente qu'une résistance plus restreinte, et auquel le recuit communiquerait des allongements excessifs, on doit s'en tenir au fil clair.

On a essayé le fer galvanisé, c'est-à-dire des fils que l'on a recouverts de zinc, pour les garantir de la rouille. Mais cette application de zinc fondu, qui équivaut à un certain degré de recuit, a donné des résultats peu satisfaisants. Il en a été de même pour l'étamage.

Le meilleur moyen de préservation contre l'oxydation est encore le graissage. Il convient de le renouveler au moins tous les huit jours. Contrairement aux anciens usages, il est préférable de se servir d'enduits très liquides et posés à chaud, afin de les faire pénétrer dans l'intérieur du misage. On devra s'attacher à ce que ces enduits soient neutres, et ne présentent aucune réaction acide. Quelquefois on les épaissit avec du brai, mais c'est uniquement pour le cas des câbles-guides, destinés à rester essentiellement rectilignes.

On doit à MM. Parrington et Almond une machine à décrasser et graisser les câbles [1]. On fait filer ces derniers au centre d'une ceinture de rudes brosses métalliques, au-dessous desquelles un récipient circulaire recueille les crasses. Plus loin, se trouve un système de brosses douces, imprégnées de l'enduit liquide qui est déversé par un certain nombre de gouttières. Cet ensemble est installé à demeure, mais à une petite distance du câble, et toutes ses parties s'en rapprochent, de manière à l'embrasser, au moment où l'on veut effectuer l'opération.

728 — *Acier.* — L'avenir est à l'acier [2], surtout pour les grandes profondeurs, en vue d'alléger le câble, malgré la difficulté que le peu d'épaisseur à résistance égale apporte alors à la régula-

[1] *Engineering*, 3 février 1882, p. 105.

[2] Garcenot (*Bull. min.*, 2e, XI, 827). — *CRM*, 1876, octobre, 17; novembre, 6; 1878, 127, 172; 1880, 251. — *Écho des mines*, câbles d'acier de Przibram, 1877, 165. — *Rev. univ. d. m. et u.* 1re, XXXIII, 99, Havrez; 2e, IX, 325, Albert Bounaud. — *Œsterreichische Zeitschrift für Berg und Hüttenwesen*, XXIV, 49, Langer. — *Zeitschrift des Vereins Deutscher Ing.* XXVII, 222, câble d'acier de Duke Hardeburg.

risation. En Angleterre, ce métal forme la presque totalité des applications; en Westphalie, environ 70 %, et presque toujours avec la section ronde. On se sert des fils n°s 11 à 15 de la jauge de Paris.

La caractéristique de l'emploi de l'acier est le grand diamètre d'enroulement qu'il est indispensable de lui attribuer. Il faut compter sur un minimum de 4 mètres, et l'on a été jusqu'à 6 mètres. Nous préciserons, du reste, ce point en parlant des molettes. La souplesse est de 12 ou 13 angles droits de repliement sur un étau de 5 millimètres de diamètre.

L'allongement est de 3, et même de 5 %. La résistance à la rupture, de 110 à 120 kilogrammes par *millimètre* carré, atteint jusqu'à 140 kilogrammes, et même 183 kilogrammes avec l'acier plough [1]. On n'impose toutefois pas plus de 13 kilogrammes de charge pratique. Callon indique *sous toutes réserves* le rapport de 1500 entre la limite de prudence et le poids du mètre courant. On ne doit pas employer d'acier dur. Il convient de perdre sur la résistance par des recuits suivis de trempe à basse température, de manière à gagner sur l'allongement par une compensation à peu près complémentaire, sans quoi le câble romprait sec dans les chocs. Il vaut beaucoup mieux, pour cela, partir d'un acier fondu relativement dur et aussi homogène que possible, ramené après coup à l'aide de recuits et de trempes appropriées, que de se servir directement des aciers naturellement doux que l'on peut obtenir par les nouvelles méthodes métallurgiques. Ils ne vaudraient pas, pour cette application, le fer doux, qui possède l'allongement élastique avec peu de ténacité, mais qui présente une fixité naturelle de constitution, plus satisfaisante que celle de métaux fondus plus ou moins complexes. Ces derniers renferment du manganèse, du vanadium, des métaux terreux, du silicium, du phosphore, du soufre, etc., dont les affinités électives tendent toujours à troubler l'équilibre moléculaire par des liquations ultérieures, facilitées par l'état de travail incessant auquel se trouve soumise cette substance.

[1] La résistance de l'acier, à poids égal, est un peu plus que double de celle du fer, tandis que son prix n'est pas doublé. On comprend d'après cela l'expansion que prend journellement son emploi.

729 — *Bronze phosphoreux.* — Ce métal [1] a été récemment proposé, et employé dans une mine, mais il est encore très imparfaitement connu. On a annoncé 114 kilogrammes de résistance à la rupture et un allongement élastique considérable, la souplesse, l'inoxydabilité. Il convient toutefois de n'accepter ces indications que provisoirement, et sous réserve d'expériences ultérieures.

§ 5

DURÉE DES CABLES

730 — La durée des câbles doit être discutée à la fois aux deux points de vue, respectivement opposés, de la répartition de leur prix d'achat sur un tonnage aussi important que possible, et, d'autre part, de la sûreté du personnel, en même temps que des entraves que subit le service en cas de rupture. Il est inutile d'ajouter que la question de sécurité doit nécessairement primer toutes les autres.

Il n'est pas possible de poser à cet égard de règles absolues. On voit, dans une atmosphère humide et viciée, des câbles mis hors de service en moins d'un an. Dans un air pur et sec, ils atteindront facilement dix-huit mois. On a signalé des durées de deux et trois ans, sous le contrôle d'une surveillance attentive. A conditions égales, la carrière des câbles ronds peut dépasser d'un quart, ou de moitié, celle des câbles plats.

Quand on a lieu de penser que l'existence d'un câble est arrivée à plus de la moitié de sa durée, on procède quelquefois à son retournement, en le renversant du haut en bas. L'extrémité supérieure est en effet plus fatiguée que l'autre, puisqu'elle supporte, outre la cage, la totalité du poids du câble. De plus, elle s'applique sur les bobines avec de moindres rayons de courbure, tandis que la portion inférieure vient se superposer sur les premières épaisseurs. Cependant il convient de dire que l'utilité de cette pratique est révoquée

[1] *Écho des mines*, 1877, 599. — *Revue industrielle*, 1881, 230, 243, 279.

en doute par un grand nombre d'ingénieurs. Elle est, en outre, naturellement impossible avec les câbles diminués, dont le gros bout doit, de toute nécessité, rester à la partie supérieure.

On a également préconisé le changement de côté pour l'enroulement, de manière que la face supérieure du câble passe en dessous, afin d'égaliser, entre les deux moitiés de l'épaisseur, les effets de l'assouplissement. Cependant cette dernière interversion ne paraît guère avoir été appliquée, que lorsque le câble s'enroulait mal d'un côté.

Dans les machines ordinaires, l'un des câbles s'applique dans le même sens, à la fois sur les molettes et sur les bobines; le second, au contraire, s'enroule successivement dans deux sens opposés (fig. 519). Ce dernier sera naturellement le plus fatigué par cette épreuve plus prononcée de sa souplesse. On a soin, pour ce motif, d'intervertir au bout d'un certain temps, les rôles de ces deux câbles. On a signalé, de ce chef, des augmentations de durée de 20 à 40 °/₀ pour l'aloès, bien que cette conclusion ait été ailleurs absolument révoquée en doute. En ce qui concerne les câbles métalliques, on est plus uniformément d'accord pour admettre une prolongation, qui a semblé varier, suivant les cas, de 10 à 33 °/₀.

Le câble se fatigue beaucoup par sa partie inférieure, qui plonge dans les eaux acides. En outre la *patte*, qui l'unit à la cage d'extraction, subit directement l'allongement dû aux à-coups. On doit recommander avec insistance à cet égard de fréquents *coupages à la patte*, qui suppriment périodiquement cette partie si éprouvée. On y trouve en outre l'avantage de changer l'*élevage*, c'est-à-dire le point d'enroulement sur les molettes qui correspond au moment précis de la mise en tension, laquelle fatigue beaucoup cette partie, en raison des *coups de fouet* ou *coups de molette* (n° 756). Il sera bon d'enlever ainsi à la patte 1 à 2 mètres dans le premier tiers de la durée, 1 à 3 mètres dans le second tiers, 2 à 5 mètres pendant le troisième. Ce raccourcissement est d'ailleurs compensé au moyen d'une provision de câble, emmagasinée sous le nom de *fourrure* dans l'enroulement sur les bobines (n° 756). Les tronçons ainsi détachés sont essayés, soit à l'état de câble, soit par leurs fils élémentaires, de manière à fournir de temps en temps des données sur l'état de conservation de l'ensemble.

731 — Le câble s'allonge de 4 à 6 % dans les premiers jours de sa mise en charge. Ensuite sa longueur reste à peu près constante pendant longtemps. Vers la fin, il éprouve un allongement extraordinairement rapide : jusqu'à 3 % en 12 heures. Cet indice est le précurseur d'une catastrophe imminente, si l'exploitant, ainsi averti qu'il a dépassé les limites de la prudence, n'arrête pas le service sur le moment même.

Il est bon, autant que possible, de ne pas renouveler en même temps les deux câbles d'un puits d'extraction, mais de faire chevaucher la durée de chacun d'eux sur celle du second. De cette manière, on possède toujours un câble plus neuf que l'autre. C'est à celui-là que l'on confiera de préférence les manœuvres les plus délicates. Il est seulement bien essentiel de ne lui accorder cette confiance qu'après un délai de quelques semaines, suffisant pour qu'il ait fait ses preuves.

Le *travail utile* d'un câble résulte à la fois du nombre de cordées et de l'importance de l'enlevage. Il s'évalue, soit en milliards de kilogrammètres, soit en milliers de tonnes élevées à 100 mètres, pendant la durée totale de son service. Quelquefois on n'y fait figurer que la houille. Dans d'autres cas, on y comprend en outre, avec raison, le poids mort de la cage et des wagonnets, celui de l'eau, des hommes, etc., ce qui peut modifier complètement le résultat du premier point de vue [1]. Il serait important que l'on eût toujours, à cet égard, le soin de spécifier avec précision l'interprétation des chiffres indiqués. Le travail utile d'un bon câble en aloès atteint au moins 200 à 300 mille tonnes élevées à 100 mètres. Il

[1] L'extraction effectuée par la Société des mines de Lens, en 1882-83, s'est décomposée de la manière suivante :

Charbon		1 067 297 tonnes
Ouvriers	56 207 tonnes	
Terres	127 530 —	
Escaillage	55 101 —	
Fumiers	920 —	
Vieux bois	1 395 —	
Eau	185 886 —	
	427 048 tonnes	427 048 —
TOTAL		1 494 345 tonnes

arrive plus rarement à 400; on a cependant cité le chiffre de 500. En ce qui concerne l'acier, la statistique de l'année 1879 pour le bassin de la Ruhr a donné, pour les câbles ronds, une moyenne de 41 *milliards* de kilogrammètres, et un prix de revient moyen de $0^f,09$ par *million* de kilogrammètres, chiffre qui s'est abaissé, dans des cas exceptionnels, à $0^f,03$ et même à $0^f,02$.

732 — Il est bon d'associer les responsabilités de l'exploitant et du fabricant de câbles. Le projet s'établit sur les données fournies par le premier, d'après les études spéciales et l'expérience acquise par le second, contrôlées par une discussion commune. On doit recommander encore l'usage de visites périodiques hebdomadaires, ou au moins mensuelles, dont nous avons déjà parlé (n° 724), effectuées, à moins que la distance s'y oppose, par le fabricant ou ses délégués, sans préjudice de celles dont reste chargé l'agent de la mine qui a la responsabilité des câbles. Un registre spécial sera ouvert pour y consigner toutes les circonstances de la fabrication du câble, et y mentionner ensuite toutes celles qui viendront à se produire pendant le cours de son emploi, particulièrement les ruptures de fils. Il sera, de cette manière, toujours possible de retrouver, à chaque instant, les éléments d'une appréciation plus certaine que ne le permettraient, sans cela, de simples souvenirs, plus ou moins obscurs ou contradictoires.

Il est peu d'industries pour lesquelles il soit plus indispensable de pouvoir se reposer sur la confiance que méritent des fabricants ayant fait leur preuves, et soigneux de leur renommée. Des fraudes coupables ont été parfois signalées, avec des provenances d'ordre inférieur, par suite de l'introduction, difficile à vérifier, de textiles de natures inégales, ou même d'anciens déchets, dans la partie éloignée des extrémités où peuvent être effectuées les prises d'échantillons. Mais, en dehors de pareils abus de confiance, on ne peut méconnaître que la solidité d'un câble, et, par suite, la vie des hommes, dépendra au premier chef des soins et de l'exactitude qui auront présidé à sa fabrication, qualités qu'un examen ultérieur ne saurait mettre en évidence d'une manière suffisamment positive.

CHAPITRE XXXII

APPAREIL D'EXTRACTION

—

§ 1

CAGES

733 — *Cuffat.* — Le véhicule essentiel de l'extraction verticale appartient à deux types différents : l'un, en voie, tous les jours plus prononcée, de diminution, appelé *benne* ou *cuffat*; l'autre, la *cage guidée* qui domine presque universellement aujourd'hui [1].

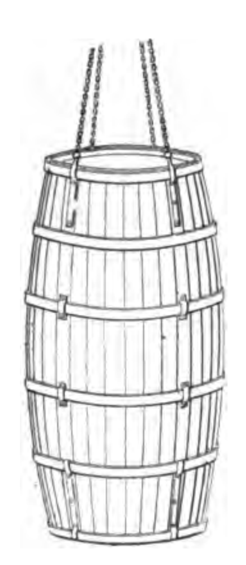


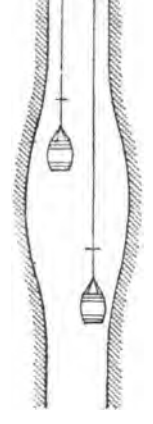
Fig. 457. Cuffat.

Le cuffat [2] est un vase d'une capacité de 1 à 2 mètres cubes (fig. 457), dans lequel on verse, à la recette inférieure, le contenu des wagonnets, et qui le déverse à son tour, lorsqu'il est parvenu à la surface. On lui donne la forme d'une tonne assez allongée, afin de gagner sur le volume sans être obligé d'élargir le puits; renflée au centre, en vue d'assurer sa solidité et de faciliter la ren-

(1) A Schemnitz, on extrait sur quelques points dans des sacs. En Angleterre, il y a peu de temps encore, on voyait enlever, sur des plates-formes, des tas de houille maintenus par des cercles. Ces moyens, absolument surannés, ne sont cités ici que pour mémoire.

(2) Dorlhac (*Bull. min.*, 1re, VII).

contré dans le puits (fig. 458) ; frettée en fer sur sa surface latérale, et consolidée sous le fond par des croisillons en bois et en fer. Trois ou quatre crochets, disposés en des points équidistants de sa circonférence supérieure, servent à le suspendre à autant de bouts de chaine, que la boucle d'attelage réunit à la patte du câble.


Fig. 458. Rencontre des bennes.

Dans quelques mines, le cuffat prend la forme d'un prisme en tôle très allongé (fig. 497) qui est ordinairement guidé. C'est alors une solution mixte, qui combine, d'une part, les avantages du guidage, en ce qui concerne la vitesse et la sécurité, ainsi que la diminution du poids mort résultant du déversement direct du contenu des wagonnets dans la benne, sans enlever ces véhicules au jour, et, d'autre part, les inconvénients inhérents à ce déversement, qui ont été déjà signalés dans une autre occasion (tome I, page 701).

La benne est souvent recouverte d'un disque de forte tôle, suspendu à une certaine hauteur et appelé *parapluie* (fig. 458 et 731). Il préserve, en effet, quoique bien imparfaitement, les hommes placés dans la benne, des torrents d'eau qui tombent dans certains puits; mais son but le plus essentiel est de les défendre contre la chute d'objets détachés des parois, ou tombant de la benne pleine montante sur celle qui descend avec des hommes.

La vitesse, très lente, du cuffat reste ordinairement comprise entre 1 mètre et 1^{m},50 afin de ne pas faire naître de mouvements oscillatoires qui, une fois qu'ils ont pris naissance s'éteignent lentement, en raison de l'extrême longueur d'un tel pendule, et peuvent produire des chocs contre les parois, ainsi que la rencontre et le chavirement des bennes. En vue de ce danger très grave, le mécanicien doit encore ralentir à la rencontre, et franchir très doucement ce pas difficile, pour lequel on a soin, en outre, d'élargir la section du puits (fig. 458).

734 — *Cage.* — L'ensemble de la cage guidée et de son gui-

donnage ([1]) constitue en quelque sorte un chemin de fer vertical.

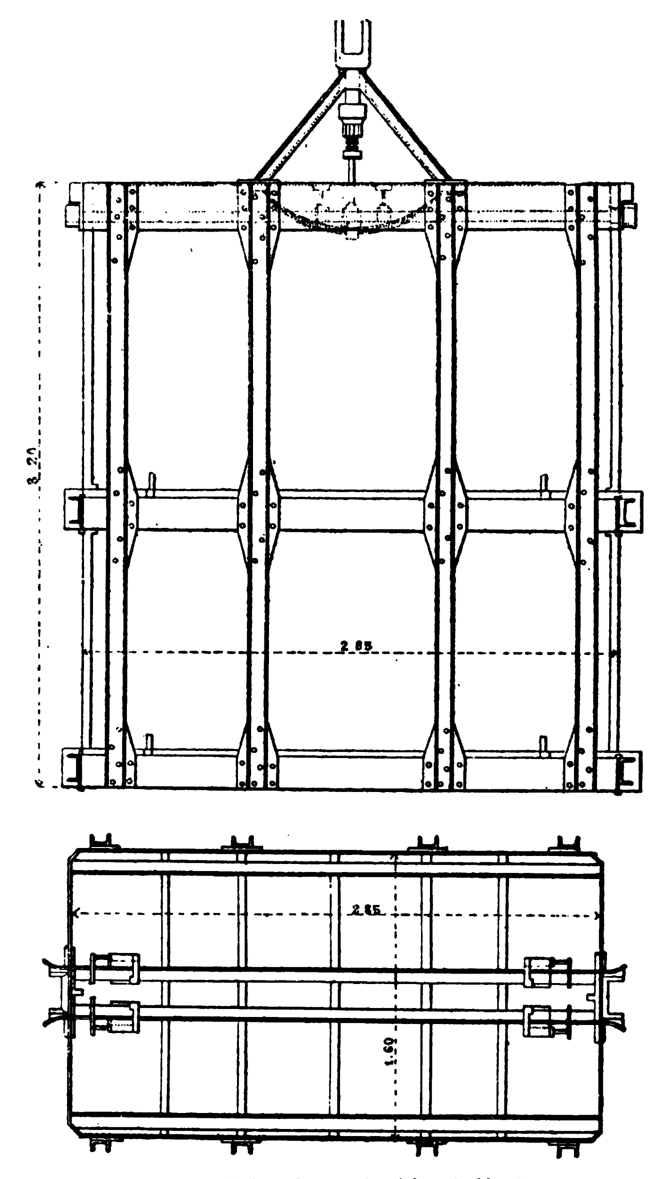


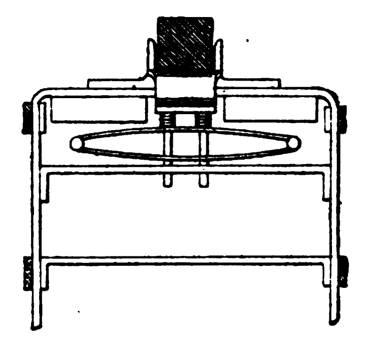
Fig. 459 et 460. Cage d'extraction (plan et élévation).

([1]) Jules Havrez (*Rev. univ. d. m. et u.* 1re, XXXIII, 86. — *Zeitschrift BHS*, XVIII, 40 — *Œsterreichische Zeitschrift* 1870, 323. — *Berggeist*, 1870, 586.

Leur emploi, introduit vers 1830, en permettant d'augmenter considérablement la vitesse, a développé outre mesure la puissance de l'extraction, en même temps qu'il procurait une sécurité plus complète, en rendant les rencontres matériellement impossibles. Ce mode d'extraction présente seulement l'inconvénient très sérieux d'augmenter le poids mort, en embarquant les wagonnets tout chargés, pour les conduire au jour en même temps que le poids utile.

La cage a la forme d'un parallélépipède rectangle, dont les arêtes sont figurées par de solides fers à **T**, avec les cornières nécessaires (fig. 459 et 460). Quelques-unes sont à un seul étage, une seule voie, une seule berline. Plus souvent, on s'arrange de manière à pouvoir y embarquer plusieurs chariots. On peut, pour cela, leur donner deux étages, ou deux voies au même étage, ou deux longueurs de berline sur la même voie. Certaines cages de Lens, réunissant toutes ces dispositions, enlèvent à la fois huit wagonnets. Parfois les deux étages sont séparés par un plancher mobile, que l'on peut enlever pour descendre debout des bois de grande longueur. En général, on trouve avantage à superposer deux étages au lieu de juxtaposer deux voies, ou de doubler la longueur de ces dernières, attendu que, si les wagons placés l'un à côté de l'autre sont inégalement chargés, on constitue ainsi un porte-à-faux.

Tantôt la cage possède une seule entrée. On commence alors, à l'accrochage inférieur, par retirer les wagons vides, et l'on n'introduit qu'ensuite les chariots pleins. On opère d'une manière inverse à la recette extérieure. Tantôt elle présente deux issues opposées. On introduit alors directement les berlines pleines, qui poussent devant elles les berlines vides. Celles-ci, une fois sorties de la cage, reviennent à l'accrochage par une galerie tournante.


Fig. 461. Main de fer à ressort

735 — Les cages sont munies de *mains de fer*, c'est-à-dire de fers en **U**, destinés à embrasser le guidonnage, de manière à assurer

la direction. Quelquefois ces organes sont garnis de galets. M. Rousseau y a introduit un ressort (fig. 461), afin d'éviter le ballottement dû au jeu qu'il est nécessaire de conserver, sous peine de s'exposer à des coincements, et d'éviter les inconvénients des chocs [1].

Il est bon de disposer à l'entrée de la cage une barrière coudée (fig. 462 et 463), pour empêcher que les wagonnets, se déplaçant

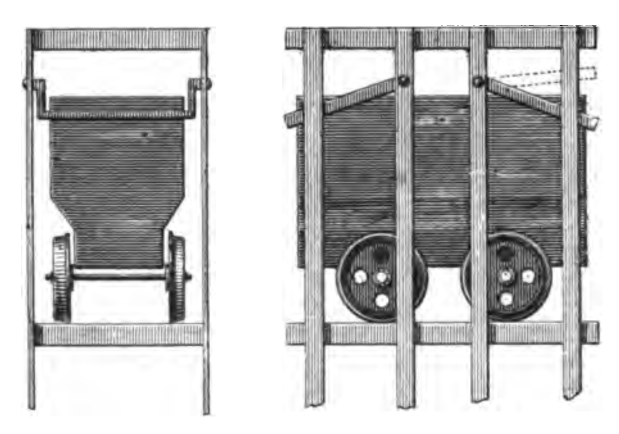


Fig. 462 et 463. Manette de retenue (élévations antérieure et latérale).

pendant l'ascension, ne viennent à sortir et à s'engager dans les cadres de boisage. Relevée à la main, elle permet l'introduction des chariots, et, une fois retombée en place, elle prévient leur sortie. Dans certains cas, on substitue à ce moyen l'emploi de taquets, qui s'effacent d'eux-mêmes devant l'introduction de la berline, mais s'opposent à son retour en arrière, sauf au moment où on les abaisse volontairement pour effectuer le déchargement.

La cage est surmontée d'un toit protecteur, pour garantir de la pluie et de la chute des corps solides les hommes qu'elle renferme. Elle doit également être garnie, sur ses faces latérales, de tôles ou de grillages, quand elle est destinée à la descente du personnel.

Le poids des cages est très variable. Il augmente, bien entendu, avec le nombre des wagons, sans toutefois leur être proportionnel.

[1] Guary (*Société des anciens élèves de l'École des mines du Hainaut*). — Baure (*CRM*, 1879, 179).

Il peut varier de 350 à 1200 kilogrammes, et même jusqu'à 1700 kilogrammes. L'enlevage total, cage, wagons et combustible, est ordinairement de 2 à 4 tonnes. Il a, dans certains cas, atteint et même un peu dépassé 7 tonnes. Le rapport du poids utile au poids mort varie en général de 1 à 1,5. C'est par la substitution de l'acier au fer, et surtout au bois, que l'on est arrivé à abaisser le poids mort au-dessous du poids utile. Le poids des cages avec ses wagonnets, au siège Marie Colard de Seraing, n'est que de 2000 kilogrammes pour une charge utile de 2160 kilogrammes (¹). On a construit de même, dans le Lancashire, des cages en acier Bessemer pesant 800 kilogrammes, et durant 4 à 5 ans, quoique menées avec des vitesses de 12 mètres par seconde (²).

On doit toujours avoir deux cages en réserve, afin de pouvoir remplacer immédiatement celles du service ordinaire, lorsqu'elles viennent à subir une avarie. Il est important, en effet, de suspendre le *trait* le moins longtemps possible. On exécute ensuite à loisir la réparation des cages endommagées.

736 — *Attelage.* — Le câble s'attache ordinairement à un bout de chaîne, et celui-ci se ramifie, à son tour, en quatre autres chaînes attelées aux angles de la cage. Il est bon, en effet, que la partie qui doit de temps en temps s'affaisser sur le toit de la cage, ou plonger avec elle dans le puisard, quand l'épuisement se fait par ce système (n° 977), soit mise en état de résister aux effets de l'oxydation et de la réaction acide.

Parfois on interpose dans l'attelage un ressort très fort, en vue d'amortir l'à-coup de l'enlevage qui fatigue beaucoup l'élasticité du câble, surtout dans la partie inférieure. On a proposé également l'interposition d'un dynamomètre suffisamment solide, permettant de se rendre compte de l'importance des chocs subis par le système, afin de tenir, à l'aide de ce contrôle, l'attention du mécanicien en éveil.

Ces divers intermédiaires ne font du reste que reculer la question

(¹) Alfred Habets (*Rapports du Jury international de l'Exposition de* 1878, groupe VI, classe 50, p. 150).

(²) Jules Havrez (*Rev. univ. d. m. et u.*, 1ʳᵉ, XXXIII, 86).

de l'assemblage immédiat de la boucle terminale à la *patte* du câble. Or c'est là un point de première importance [1].

737 — Pour un câble plat (fig. 464), on replie le bout sur un mètre de longueur, après l'avoir passé dans la boucle. Celle-ci doit être formée de fer de premier choix. On augmente son diamètre par l'intermédiaire de croupières de fer, de disques de bois, ou de doubles de vieux câbles, afin de ménager la souplesse du câble. Quelquefois même on détord le câble, en vue d'augmenter sa flexibilité dans ce repliement. On enferme alors les deux brins entre deux plaques métalliques, que l'on serre l'une contre l'autre, à l'aide de boulons disposés en quinconce. Ces plaques présentent le grave défaut de dissimuler la partie la plus fatiguée, que l'on aurait, au contraire, le plus grand intérêt à pouvoir surveiller de près.

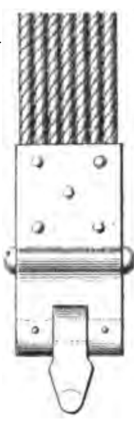


Fig. 464.
Patte du câble.

Quant au câble rond (fig. 465, 466, 467, 468), on le passe dans la boucle, et, en second lieu, on le ramène à travers un anneau qui

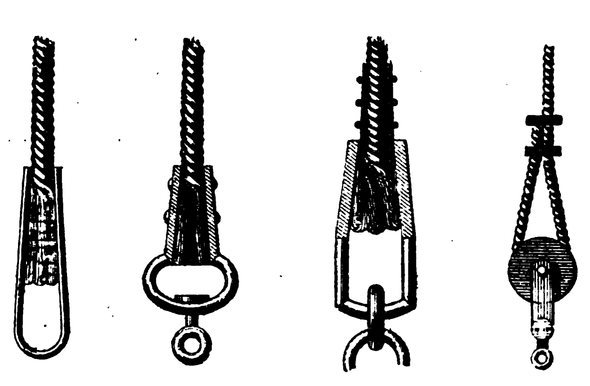


Fig. 465, 466, 467, 468. Pattes du câble.

embrasse les deux brins. On fait un nœud qui l'empêche d'y pouvoir repasser, et l'on exécute une ligature très forte sur une longueur

[1] *Zeitschrift des Vereins deutscher Ing.*, septemb. 1879.

d'au moins 0m,50 avec une cordelette goudronnée. A Allevard, le câble est décâblé et les brins sont retroussés symétriquement tout autour, de manière à ne pouvoir ressortir par la petite base du tronc de cône à travers laquelle on a enfilé le câble. Un tampon conique contribue à augmenter le serrage. On a soin de lui donner un angle trop aigu pour que la force de serrage puisse le rejeter en arrière.

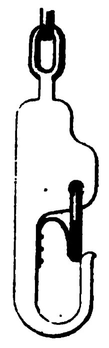


Fig. 469. Crochet de sûreté.

Lorsqu'il s'agit de bennes mobiles, qu'il faut, à chaque manœuvre, attacher ou détacher, on emploie des *crochets de sûreté* (fig. 469). Ils sont constitués de manière à ne pouvoir se déclancher pour permettre la sortie de la boucle, que par une intervention volontaire, et non en raison seulement du ballottement de la boucle à l'intérieur. On peut citer à cet égard les crochets Frankmet, King, Walker, etc.

§ 2

GUIDONNAGES

738 — *Guidonnages en bois.* — Le *guidage* ou *guidonnage* est destiné à empêcher le tournoiement et les rencontres. Il permet par cela seul de plus grandes vitesses, et, comme conséquence, le développement de l'importance des sièges d'extraction. On doit, dans la pose de ces guides, laisser 10 à 15 centimètres de jeu entre les cages et la paroi, et, de même, entre les deux cages.

Il existe trois systèmes de guidonnages : en bois, en fer, ou en câbles.

Les guides en charpente [1] sont les plus simples, mais ils tiennent beaucoup de place. Des longuerines règnent du haut en bas et doivent être établies rigoureusement suivant la verticale. Des moises équidistantes leur servent de supports. Nous avons vu (tome I, page 341)

[1] *Bull. min.*, 1re, VII, 445, Manigler; X, 23, 281, Bessy; XII, 231, Dorlhac; 2e, VI, 697, Fayol; 739, Chansselle. — *CRM*, 1876, septembre, 36; 1879, 214; 1880, 324.

qu'il est bon de poser ces dernières, en même temps que l'on exécute le muraillement. Elles s'y trouvent par là mieux fixées, et sans nuire à sa netteté. Les boulons d'assemblage doivent être noyés dans l'épaisseur du bois, de manière à ne présenter aucune saillie. Des éclisses assurent la parfaite correspondance des tronçons adaptés bout à bout.

Certains guides sont composés exclusivement de bois sans aucune ferrure (¹). Les assemblages en queue d'aronde sont alors établis très juste, et l'humidité du puits, en les dilatant, les met en tension d'une manière énergique. Dans ce système, employé à Carmaux et à Commentry, les pièces sont plus fortes et le prix de revient plus élevé. On obtient, en effet, les chiffres suivants :

0^{m^3},230 de traverses et guides.	27f60
2 coins en bois.	1,20
30 kg. de ciment pour scellement des traverses.	1,80
Main-d'œuvre.	6,76
	37f36

tandis que l'on a dans le mode ordinaire :

0^{m^3},137 de traverses et guides.	13f70
4 chevillettes.	0,28
40 kg. de ciment pour scellement des traverses.	2,40
Main-d'œuvre.	5,26
	21f64

Dans les puits sujets à se déjeter, on pose un guidonnage unique au lieu de deux longuerines parallèles, afin d'éviter que, leur distance venant à varier, les cages ne se trouvent coincées (²).

Le guidonnage doit être interrompu aux recettes, dont il entraverait le service; on peut se contenter de le supprimer sans équivalent, en retroussant légèrement les bords des mains de fer, pour être sûr qu'elles s'engagent nettement, au moment où elles re-

(¹) Système Vidal (*Bull. min.*, 1re, XII, 95, 189. Laromiguière).
(²) *Rev. univ. d. m. et u.*, 2e, IV, 211

trouvent le guide. D'autres fois, on emploie un faux guidonnage mobile à charnière autour du point le plus bas. Cette pièce se renverse à terre pour les manœuvres de la recette, et se relève ensuite pour rétablir la continuité. Parfois encore, on emploie des portes qui, ouvertes pour le service de la recette, se ferment pendant les intervalles, et présentent, sur leur face interne, le prolongement des guides interrompus. On peut enfin établir, dans les angles d'un puits rectangulaire, des contre-guides analogues aux contre-rails des aiguillages (tome I, page 665), et qui sont saisis par des mains de fer auxiliaires, un peu avant que celles du guidonnage principal aient cessé d'être engagées, pour être abandonnés à leur tour après la reprise de ces dernières.

739 — *Guidonnages en fer.* — Le fer se substitue au bois quand on veut économiser la place et réaliser une plus longue durée [1]. On emploie dans ce cas des fers à **T**, des fers en **U**, ou de vieux rails ordinaires. Le galet des mains de fer doit être alors en bronze, pour ne pas mettre en contact deux surfaces de fer.

Ce système, plus sensible que le précédent à l'action des eaux acides, présente en outre l'inconvénient de se prêter beaucoup moins bien à l'emploi des parachutes. Leurs griffes n'y sauraient faire prise comme dans le bois, et l'on est obligé, à cet égard, d'employer d'autres moyens que nous indiquerons en temps et lieu.

740 — *Guidonnages en câbles.* — On emploie encore, concurremment avec les guides solides de bois ou de fer, des câbles métalliques [2], raidis suivant la verticale par des poids de 2 à 4 tonnes, par des vis, ou par des pressions hydrostatiques. Ces câbles se posent au nombre de trois, ou de quatre. La profondeur, ordinairement limitée avec ce mode de guidage, a été poussée exceptionnellement à près de 700 mètres.

(1) *CRM*, 1876, janvier, 4; février, 3; mai, 14, 28; juin, 27; septembre, 26, 37; 1877, avril, 13; 1879, janvier, 11. — *Rev. univ. d. m. et u.*, 1re, XXXII, 64; 2e, IV, 211; Donkier; VII, 549.

(2) *Bull. min.*, 1re, V, 321, Dauge; 2e, VI, 729, de Biauzat; 750, Baretta. — *CRM*, 1875, août, 3, 5; 1876, mai, 14; 1877, avril, 13. — *Rev. univ. d. m. et u.*, 2e, IV, 207, Leduc.

Ces guidonnages ont l'avantage de rester nécessairement rectilignes, lors même que l'axe du puits vient à être plus ou moins déjeté par les mouvements du terrain. Mais, en revanche, ils ne sauraient se prêter à un artifice que l'on a réussi à employer avec les guides rigides, et qui consiste à les infléchir légèrement, de manière qu'aux extrémités de la course, les deux cages se recouvrent partiellement en projection. Cette circonstance, qui permet de rétrécir le puits, ne présente aucun inconvénient, pourvu qu'à la rencontre les cages soient nettement séparées.

Les guides en câbles sont d'une pose facile et rapide. Ils économisent, en principe, tout l'emplacement occupé par les moises. Cependant ils présentent l'inconvénient des oscillations, circonstance qui oblige à écarter les cages plus qu'à l'ordinaire, au détriment de l'avantage précédent. De plus, ces oscillations empêchent les grandes vitesses. Elles agitent le châssis des molettes. On a, parfois, en raison du manque de netteté de ces guides, intercalé, en face des accrochages, des longuerines supplémentaires, pour assujettir les rails de la cage dans la direction de ceux de la recette.

Les guidonnages en câbles se prêtent encore plus difficilement que les guides en fer à l'emploi des parachutes. Nous indiquerons plus loin les seuls dispositifs qui puissent être employés à cet égard.

Lorsque l'extrémité inférieure arrive à se corroder par l'action des eaux acides, on la remplace à l'aide d'une provision de câble qui a été réservée à la partie supérieure, en vue de cette éventualité. La durée est d'ailleurs beaucoup plus longue que celle des câbles porteurs. Elle est au moins de 3 ans, et atteint, dans certains cas, 6 ou 7 ans. On affecte même à cet usage de vieux câbles d'extraction. Cependant on construit, la plupart du temps, des câbles spéciaux d'un plus fort calibre, non avec des torons formés de fils fins, mais en câblant directement en hélice des tiges d'un centimètre environ de diamètre, autour d'une tige semblable qui sert d'âme. Cette différence dans le commettage est toute naturelle, puisque les guides ont surtout besoin de raideur, tandis que les câbles d'extraction réclament au contraire la flexibilité. On a même proposé, au lieu de câbles proprement dits, des tiges de fer rond

vissées les unes au bout des autres, ou soudées bout à bout, et descendues d'une seule pièce dans le puits, en les courbant en col de cygne en raison de leur souplesse (1). L'acier s'emploie fréquemment en Angleterre pour les câbles-guides.

741 — Pour les puits en fonçage, M. William Galloway dispose un câble-guide d'une longueur un peu supérieure au double de la profondeur projetée. Ce câble passe, au fond, sous une poulie de retour, remonte à la surface et s'enroule en provision sur un cabestan. Au fur et à mesure de l'approfondissement, on déplace le châssis qui porte la poulie de retour, en déroulant du câble de dessus le cabestan en quantité suffisante.

Dans un autre système (2), les guides s'arrêtent à quelque distance du fond. Un châssis, coiffant la benne et enfilé sur ces câbles, s'arrête en ce point ; la benne achève seule son parcours de quelques mètres, en amortissant sa vitesse. Lorsqu'on la remonte, elle vient s'incruster dans le châssis en le soulevant, et le mène, guidée par lui, jusqu'à la recette extérieure.

§ 3

PARACHUTES

742 — *Généralités*. — On s'est préoccupé, pour le cas de rupture du câble, des moyens de retenir la cage suspendue aux parois du puits, au lieu de la laisser précipiter au fond (3). On emploie pour cela un déclanchement dont le ressort (4), replié sur lui-même par l'effet de la tension du câble, prend subitement, à l'instant où cette tension se trouve supprimée par la rupture, une expansion qui rapproche du guidonnage certains organes de prise.

Le principe des parachutes est incontestablement salutaire, et il

(1) *CRM*, 1876, février, 4.

(2) Sauvage (*Annales*, 7e, XIV, 610).

(3) Nitzsch, *Sur les parachutes dans les puits de mines*. Berlin, in-4°. — Baure (*Bull. min.*, 1re, IV, 593).

(4) M. Mathieu a proposé un interrupteur électrique qui, au moment de la rupture du câble, engage de lui-même le mécanisme du parachute destiné à suspendre la cage.

est permis de s'étonner que son application rencontre encore autant de répugnance et d'opposition [1]. On a déjà dû à ces appareils, dans de nombreuses occasions, la vie des hommes, qui eussent, sans eux, été infailliblement perdus.

On y trouve, à la vérité, de nombreux inconvénients. En premier lieu, ils augmentent le poids mort de 200 à 250 kilogrammes environ..

On leur reproche aussi de fonctionner hors de propos, pendant les oscillations élastiques du câble, qui ont pour effet de diminuer notablement la tension à certains instants. Un semblable incident a pour résultat d'entraver le service et de détériorer le guidonnage. On en est venu, sous ce rapport, jusqu'à installer un parachute pour la descente des ouvriers, en le calant pendant le trait du charbon; pratique dangereuse, car elle expose à l'oubli de remettre l'appareil en liberté, au moment de descendre des hommes.

La tension se trouve également supprimée aux recettes, pendant que la cage repose sur ses clichages. Les griffes du parachute peuvent alors arriver à toucher le bois du guidonnage, mais sans s'y incruster, car la détente du ressort est impuissante à produire cette pénétration, dont nous verrons plus loin la cause déterminante.

Souvent, en hiver, il se forme dans le puits d'extraction, qui sert en général à l'entrée de l'air frais, de grandes aiguilles de glace qui font saillie à l'intérieur, rétrécissent le passage utile et peuvent encore accrocher les griffes du parachute.

Il arrive aussi, par un défaut opposé, que les parachutes ne fonctionnent pas au moment utile, leur jeu se trouvant entravé par la rouille ou la poussière. D'autres fois, le mécanisme arrive bien à se déclancher, mais le câble, en fouettant contre les parois, pendant que la cage se trouve précipitée dans le vide, acquiert, par cette circonstance [2], une tension suffisante pour empêcher les griffes de s'écarter à la distance voulue.

[1] Les parachutes, répandus en France, quoique encore très discutés, sont à peu près inconnus en Angleterre, où l'on ne prend même pas la précaution d'amortir la vitesse. Mais il est juste de dire que les câbles y sont l'objet d'une surveillance très attentive.

[2] Analogue à l'emploi du *guide-rope*, qui est destiné à arrêter la course d'un aérostat, au moment où l'aéronaute cherche à atterrir.

Lors même que tous les organes ont convenablement fonctionné, il peut arriver que, le câble se trouvant rompu à une grande distance au-dessus de la cage [1], qui s'est arrêtée sur le guidonnage, sa chute sur le toit de cette dernière y exerce un choc assez intense, pour entraîner de nouveau le tout au fond.

On reproche encore au principe des parachutes la sécurité même qu'il procure, et qui est de nature à endormir la vigilance des agents préposés à la visite des câbles. Dans ces conditions, il peut arriver que les deux garanties viennent à manquer à la fois. Cette objection est peut-être la plus sérieuse de toutes. Il semble cependant qu'il n'y ait là qu'une question de discipline, et que la vigilance et l'énergie d'un directeur puissent beaucoup pour y remédier.

743 — Le parachute fonctionne du reste mieux en montant qu'à la descente. En effet, le lancé de la cage s'arrête alors bientôt de lui-même, pour être suivi d'une chute, lente au début, ce qui donne au mécanisme le temps de se dilater efficacement; tandis que, dans le second cas, une descente rapide peut déterminer une éraflure générale du guide, sans laisser nulle part le temps nécessaire pour une pénétration profonde. Cette répartition des chances est d'ailleurs plutôt favorable; la cage montante, qui est la plus chargée, exposant à de plus grandes chances de rupture.

On a introduit dans certains parachutes un levier spécial, qui se trouve à la disposition des hommes placés dans la cage, et leur permet, si le sang-froid ne les abandonne pas, de déterminer enxmêmes le fonctionnement du parachute, dans le cas où quelque irrégularité l'empêcherait de se déclancher spontanément. Les mineurs peuvent également s'en servir pour se suspendre au guidonnage, si une inadvertance du mécanicien les menace de descendre la cage dans le mauvais air, ou dans l'eau du puisard.

744 — *Classification.* — On peut, d'après le choix du principe essentiel mis en jeu pour le mode d'arrêt, ranger ces appareils en

[1] C'est précisément dans cette partie que s'accumule la plus grande fatigue du câble, qui doit se porter lui-même. Elle présentera donc *a priori* le maximum de chances de rupture.

six catégories distinctes, à savoir : les parachutes à griffes, à frottement, à arc-boutement, à verrous, à chaîne, à câble.

Les *parachutes à griffes* sont les plus répandus. Ces dernières pénètrent dans le bois des guidonnages, et y tiennent la cage suspendue. Les dispositifs se rattachent à deux types principaux. Dans le plus ancien (fig. 470), les griffes sont portées sur deux pièces *di-*

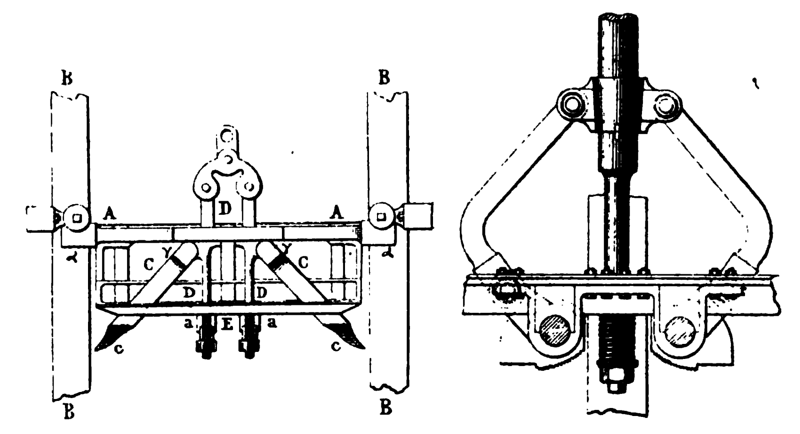


Fig. 470. Parachute Fontaine. Fig. 471. Parachute Micha.

vergentes, qui tendent à écarter les guides. Dans le second (fig. 471), ces mâchoires sont, au contraire, *convergentes* comme des tenailles, et déterminent le serrage du guidonnage. Ce dernier mode présente évidemment plus de sûreté que le premier, qui tend à fausser le système de guidage, et perdrait toute efficacité si ce dernier, obéissant à l'effort qu'il subit, venait à prendre de l'écartement.

Il n'est pas nécessaire de faire remarquer que les appareils à griffes ne sont applicables qu'aux guides en bois. On peut rattacher à ce principe les parachutes Aytonn, Borgsmuller, Calow et Lohmann [1], Davis, Delmich, Eichenauer, Eickhoff et Reinhold, Hohendahl, Fontaine [2], Hoppe, Hypersiel [3], Jacquet [4], Jordé, Legrand [5],

(1) Warington Smith, *La houille*, p. 231.
(2) Comte (*Annales*, 5e, I, 169 ; II, 553).
(3) Favel (*Bull. min.*, 2e, III, 347). — H. Glépin (*Rev. univ. d. m. et u.*, 1re, XL, 167).
(4) Haton de la Goupillière (*Bull. Soc. d'enc.*, 2e, XIX, 153).
(5) *Rev. univ. d. m. et u.*, 1873, 409.

Machecourt ([1]), Owen, Ramdohr, Reichspatent, Schœnemann ([2]), Sévrin, Taza-Villain ([3]), Veillon ([4]), White et Grant, etc.

745 — Le *parachute à frottement* ne présente pas la même certitude. Il n'arrête pas géométriquement, mais uniquement en épuisant progressivement la force vive de la chute, par le travail négatif d'un frottement suffisamment énergique.

Ce principe présente l'avantage de pouvoir s'appliquer aux guides en fer. On le trouve employé dans les parachutes Bellhouse ([5]), Bierneaux, Bourdon, Delsaux, Fourdinier, Frédureau ([6]), Garéneaux Jordan, King, Nyst ([7]), Piérard, etc.

746 — Le *parachute à arc-boutement* n'arrête pas non plus géométriquement le parcours. Le glissement reste possible au point de vue cinématique; mais on a soin de disposer les directions des forces d'après les lois connues du *frottement en mouvement*, de manière à rendre ainsi le déplacement impraticable, tandis que les règles du *frottement en repos* laissent l'équilibre possible ([8]).

Le mode d'arrêt dans ces conditions est si absolu et si dur, qu'il est indispensable d'interposer des ressorts de choc, pour éviter les ruptures de pièces. En effet, il n'admet théoriquement, à l'inverse des deux systèmes précédents, aucun déplacement appréciable. Il faut donc des efforts incomparablement plus intenses pour produire, dans la réalité, le travail nécessaire à la destruction de la force vive.

Parfois on munit les cames de petites stries (fig. 471), pour effectuer entre les surfaces théoriques une sorte de prise mutuelle.

On peut rattacher à ce type les parachutes Benninghaus ([9]), Du

([1]) Machecourt (*Annales*, 4e, VII, 493).
([2]) Dr Ad. Gurlt, *Bergbau und Hüttenkunde*, 1884, p. 68.
([3]) *Bull. min.*, 1re, XIII, 547.
([4]) *CRM*, 1876, juin, 18.
([5]) Dr Ad. Gurlt, *Bergbau und Hüttenkunde*, 1884, p. 69.
([6]) *Annales*, 6e, VII, 113.
([7]) *Rev. univ. d. m. et u.*, 1re, XI, 246.
([8]) Haton de la Goupillière, *Traité des mécanismes*, p 376.
([9]) Köhler, Lehrbuch der Bergbaukunde, 377.

vergier, Lehmann, Libotte (1), Micha (2), Otto, Salva (3), White et Grand (4), etc.

747 — Le quatrième principe est celui des *verrous*, destinés à s'enchevêtrer entre les moises du guidonnage, comme dans les systèmes Buttgenbach, Paul Fayol, Turner (5), etc.

Ici encore, l'arrêt est trop absolu et trop brusque. Il expose à cisailler les verrous. Pour y remédier, M. P. Fayol associe à ces derniers un frein destiné à amortir le choc. Si la rupture a lieu très près d'une moise, le frein n'a, il est vrai, presque pas le temps de frotter, mais aussi la force vive n'a pas eu davantage la possibilité de s'accroître d'une manière importante, par l'effet de la chute. Si, au contraire, la rupture s'effectue loin de la moise, le frottement produit un travail proportionnel à celui de la pesanteur, puisque c'est sur une même hauteur que ces deux forces constantes développent leur action.

748 — On a combiné, dans le comté de Cornwall (6), avec la substitution des *chaînes* aux câbles d'extraction, l'emploi de trappes qui sont baissées sur l'orifice du puits, pour faire fonction de parachute. La chaîne montante a la liberté de passer, en les soulevant légèrement; mais, si elle vient à casser au-dessus de ce point, elle ne peut plus redescendre, et reste pincée entre les lèvres des deux trappes, qui se referment exactement. Or les chances de rupture sont les plus grandes pour la chaîne montante, qui est la plus chargée, et, de plus, les pires conditions de fatigue sont pour sa partie supérieure qui supporte tout le poids de la chaîne elle-même, suspendue verticalement dans le puits. On pourrait objecter que, dans un appareil ordinaire, la portion de chaîne située en dehors du puits devient

(1) *CRM*, 1875, décembre 6. — *Rev. univ., d. m. et u.*, 1re, XL, 164. — *Annales industrielles*, 1er octobre 1871.

(2) *Génie industriel*, avril 1867.

(3) Haton de la Goupillière (*Bull. Soc. d'enc.*, 2e, XIX, 617. — *Revue des sociétés savantes*, 2e, IX, 4).

(4) Köhler, Lehrbuch der Bergbaukunde, 373.

(5) *Bull. min.*, 2e, IV, 334.

(6) Moissenet (*Annales*, 6e, II, 155).

insignifiante, ce qui réduit démesurément les chances en question. Mais, dans le district dont il s'agit, il arrive fréquemment que la chaîne soit renvoyée horizontalement à d'assez grandes distances, de manière à faire desservir plusieurs puits d'extraction par un même tambour vertical et le moteur qui le commande (n° 775).

749 — Un dernier principe a fourni le *parachute à câble*, appelé aussi parachute d'équilibre (systèmes Cousin, Pagès). Il est à peu près le seul [1] qui puisse s'adapter aux guidonnages en câbles.

Une corde spéciale, ou même l'un des câbles-guides, ou deux d'entre eux, passent sur des poulies à la partie supérieure, et s'attachent à un poids plus grand que celui de l'enlevage, reposant sur son siège en temps ordinaire. Une main de fer suit ce câble pendant le parcours, mais reste ouverte sans le serrer. En cas de rupture du câble porteur, un déclanchement détermine le serrage de cette main. Elle pince alors le câble-parachute et l'entraîne dans le mouvement de la cage, en soulevant de terre le contrepoids, dont la masse prépondérante a bientôt amorti la force vive du système.

750 — *Parachute Fontaine.* — Pour donner plus de précision aux généralités qui précèdent, je décrirai avec détails, en terminant, l'un des parachutes les plus anciens [2] et les plus répandus : celui de Fontaine (fig. 470).

La cage est supportée par une traverse A, portant les mains de fer α, qui embrassent les guides en bois B. Une seconde traverse a fait corps avec A. Elle est évidée suivant son plan de symétrie vers les deux extrémités, et laisse passer entre ses deux branches les bras C, terminés par des griffes c, et jouant sur des charnières γ portées par la pièce D. Cette dernière est suspendue directement au câble. Elle supporte le châssis de la cage, en comprimant, sous la face inférieure de la traverse a, des ressorts à boudin E. Dans ces conditions, tout le système passe librement entre les guidonnages.

[1] Cependant M. King a proposé, pour les mêmes guidonnages, un parachute à frottement (Habets, *Rev. univ. d. m. et u.*, 2e, XI, 124).

[2] Le premier en date paraît être le parachute Machecourt, qui a été employé en 1845 aux mines de la Machine (Decize, Nièvre).

Mais si l'on imagine que le câble vienne à se rompre, les ressorts E, qui ne restaient comprimés qu'en raison de l'antagonisme développé entre la tension de ce dernier et le poids de la cage, vont se dilater instantanément. La pièce D est donc rappelée vivement vers le bas, en prenant, par ce déplacement subit, l'avance sur la mise en mouvement que subit progressivement la cage A, sous l'action de la pesanteur. Il arrive, d'après cela, dans le triangle rectangle formé par la fourche horizontale *a*, la hauteur D et l'hypoténuse C, que, la première restant constante, le seconde va décroître. L'inclinaison de l'hypoténuse doit donc elle-même diminuer. Par suite, la griffe, qui restait jusque-là intérieure au guidonnage, s'en rapproche et va s'appuyer contre lui.

Ce ne sera cependant pas encore la pénétration, car la seule force mise en jeu au contact provient de celle du ressort E, qui est insignifiante. Mais la griffe C, se trouvant ainsi arrêtée dans sa chute, est bientôt rejointe par la traverse A, qui est mise en mouvement sous l'influence de son poids et vient tomber sur la tête de C comme une énorme massue, car elle fait corps avec la cage. C'est ce choc intense qui détermine la pénétration des griffes *c* dans le bois du guidonnage.

Ce remarquable appareil a reçu de M. Fontaine fils un nouveau perfectionnement [1], par l'introduction d'un ressort spécial nommé *tendeur compensateur*. Ce ressort, plus raide que E, est interposé entre la suspension D et le câble. Il sert, en quelque sorte, d'écran destiné à intercepter pour son propre compte la propagation des oscillations du câble, dont les variations de tension sont d'abord emmagasinées pour rapprocher ce tendeur de sa forme naturelle, avant de se transmettre plus loin, jusqu'au parachute. On évite ainsi de mettre le ressort E dans des alternatives perpétuelles, dues aux variations de tension du câble, ce qui risquerait, comme nous l'avons vu (n° 742), d'engager les griffes hors de propos. Si, au contraire, le câble vient à se rompre, la tension disparaît partout, et tous les ressorts se débandent. Celui du parachute opère donc alors son déclanchement, de la manière qui a été expliquée.

[1] *CRM*, 1875, décembre, 7.

§ 4

CHEVALEMENT

751 — *Chevalement.* — On appelle *chevalement, chevalet,* ou *belle-fleur* (1), une charpente d'une grande élévation, que l'on établit sur l'orifice des puits d'extraction, pour supporter les poulies, ou molettes, destinées à donner au câble sa direction suivant la verticale du puits, en le renvoyant, d'autre part, à la chambre des machines. La hauteur doit être importante, car il faut qu'elle comprenne : 1° toute la hauteur de la cage quand elle sort de terre, et même parfois celle d'un chapelet de bennes (n° 766), encore plus allongé suivant la verticale; 2° une petite amplitude pour permettre les manœuvres sur les clichages; 3° un espace surabondant d'au moins 5 mètres, appelé hauteur de sécurité, et destiné à éviter qu'une fausse manœuvre ne provoque la rencontre des molettes par la cage; 4° le rayon de la molette. Certains chevalements approchent du chiffre de 40 mètres. Le chiffre de 10 à 15 mètres peut être considéré comme un minimum.

Les chevalements se contruisent en bois, en fer, ou en maçonnerie.

Le *chevalement en bois* (fig. 40 et 41, tome I) ne présente rien de bien particulier. C'est un tronc de pyramide quadrangulaire en charpente, établi avec une grande solidité. Les pièces de bois reposent sur des dés en pierre, afin que leur pied soit garanti contre l'action de l'humidité. Ce type a l'inconvénient d'être sujet à l'incendie, et cette circonstance doit le faire proscrire des puits sujets aux dégagements instantanés de grisou (n° 1003).

Les *chevalements en maçonnerie* (fig. 472, 473, 474) se rencontrent, d'après des habitudes locales, dans certaines régions telles que le Gard, le bassin de Brassac, celui de Westphalie, etc. Ils sont chers et encombrants, mais d'une durée indéfinie, ce qui leur donne un

(1) Eichenauer, *Seilscheibengerüste der Bergwerks-Fördermaschinen*: Leipzick, 1877.

avantage sur l'emploi du bois. Il ne faut pas, du reste, s'exagérer l'inconvénient de l'encombrement. Presque tout cė qui entre par l'orifice du puits doit également traverser la recette inférieure. Il

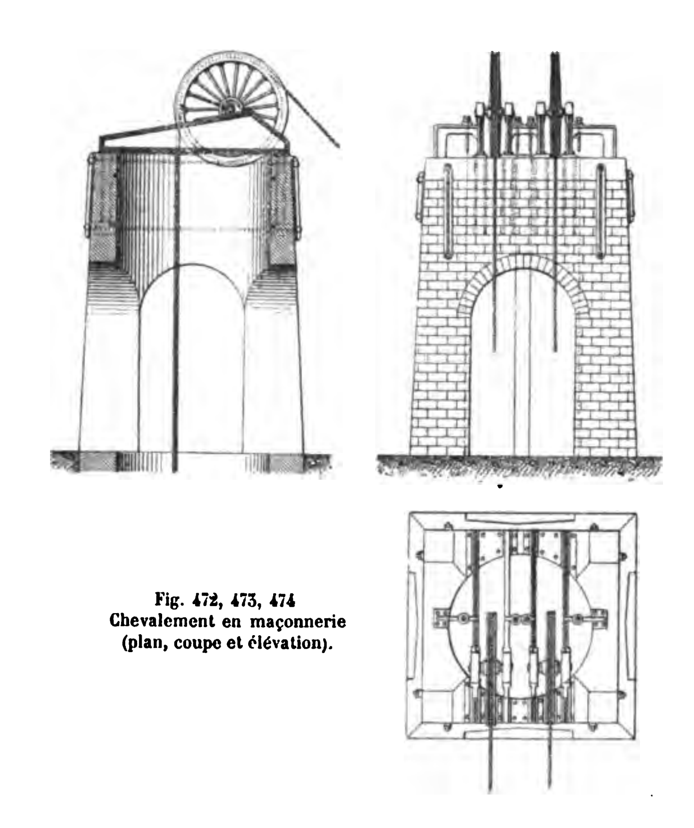


Fig. 472, 473, 474
Chevalement en maçonnerie
(plan, coupe et élévation).

n'y a donc pas lieu, en général, d'exécuter à la surface des manœuvres plus compliquées que dans le fond, où l'espace est encore plus limité.

752 — Les *chevalements métalliques* (fig. 475, 476, 477) sont de plus en plus à l'ordre du jour [1]. L'emploi du fer a permis d'apporter dans ces constructions une légèreté, une simplification et une élé-

[1] Robert (*Bull. min.*, 2e, II, 295). — *CRM*, 1876, avril, 10, Imbert; mai, 28; juillet, 3, Monin; 1880, 57, Martin; 178, Graillot; 1881, 67, Fougerat.

gance toutes nouvelles. Le chevalement se trouve réduit, en quelque sorte, aux lignes essentielles pour sa stabilité.

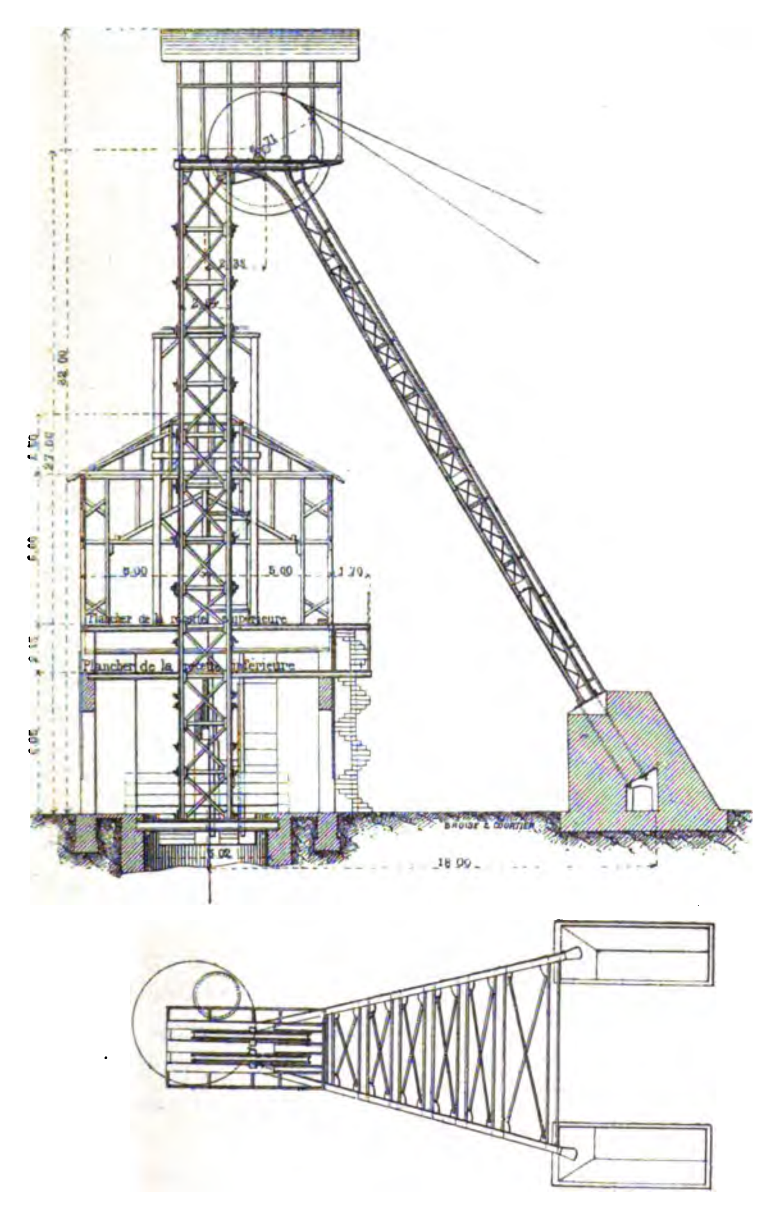


Fig. 475 et 476. Chevalement en fer (plan et élévation).

Dans les uns, les montants sont façonnés et rivés comme des bouilleurs de chaudières à vapeur. D'autres fois, on compose leur section de quatre arcs à cornières, en gardant à l'extérieur tous les boulons. On emploie aussi des poutres creuses rectangulaires en tôle.

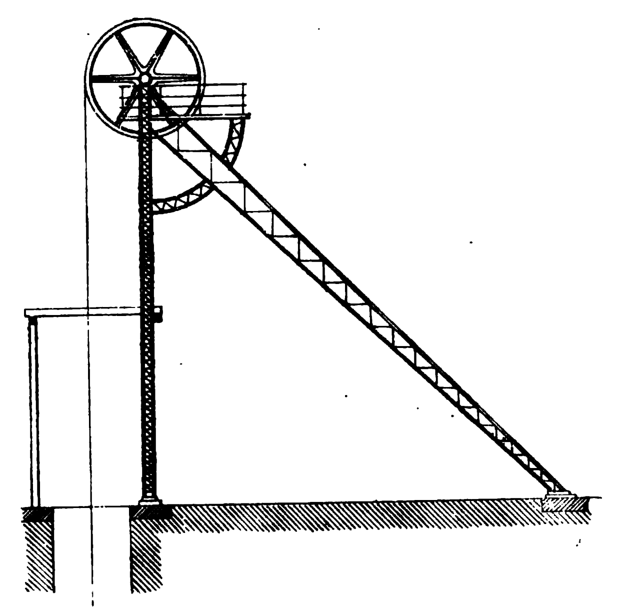


Fig. 477. Chevalement métallique

Ces ouvrages, d'un prix assez variable, coûtent de 150 à 200 fr. la tonne, et même plus. Un chevalement de 15 mètres peut peser environ 25 tonnes. On voit, pour de plus grandes hauteurs, le poids dépasser 40 tonnes (¹).

En poussant la simplification jusqu'à sa dernière expression, on obtient le *chevalement-grue* (fig. 478) (²); sa forme est à peu près celle d'un balancier de machine à vapeur, c'est-à-dire une ellipse très allongée et formée de deux flasques en treillis, entretoisées ensemble. L'ensemble repose sur le sol par un point voisin d'un des sommets de l'ellipse, de manière à disposer le diamètre conjugué

(¹) A la fosse n° 5 de Courrières (Pas-de-Calais), on a employé un système mixte, consistant en quatre piliers de maçonnerie surmontés d'un chevalet en fer.

(²) Chansselle et de Loriol (*Bull. min.*, 2ᵉ, IV, 824). — *CRM*, 1876, juin, 29.

à peu près suivant la bissectrice des deux brins du câble, qui passe sur les molettes installées à la partie supérieure. De forts haubans, amarrés en arrière, contribuent à retenir cette extrémité sous l'inclinaison voulue.

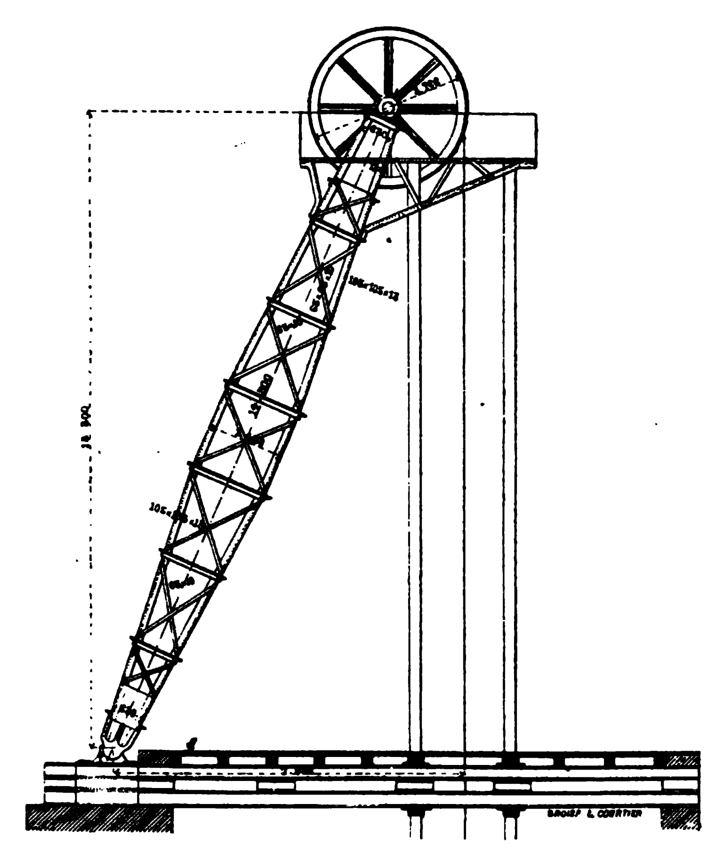


Fig 478. Chevalement-grue. Puits Graf-Beust (Essen).

Au chevalement se relie généralement un édifice d'ensemble, d'une exécution plus ou moins complète, plus ou moins architecturale. Les figures 479, 480, et la figure 481 qui est exécutée à une échelle moitié moindre, représentent, comme exemple, le siège d'extraction de la fosse Renard n° 2, établi à Denain par la compagnie d'Anzin.

753 — Le chevalement disparaît tout naturellement dans les

installations intérieures. Il existe quelques exemples de ce genre d'extraction. Je citerai notamment le *puits central* de la mine de Portes (Gard) (fig. 482). Les matières sont alors élevées, non plus jusqu'au point d'intersection de la verticale du puits avec le sol,

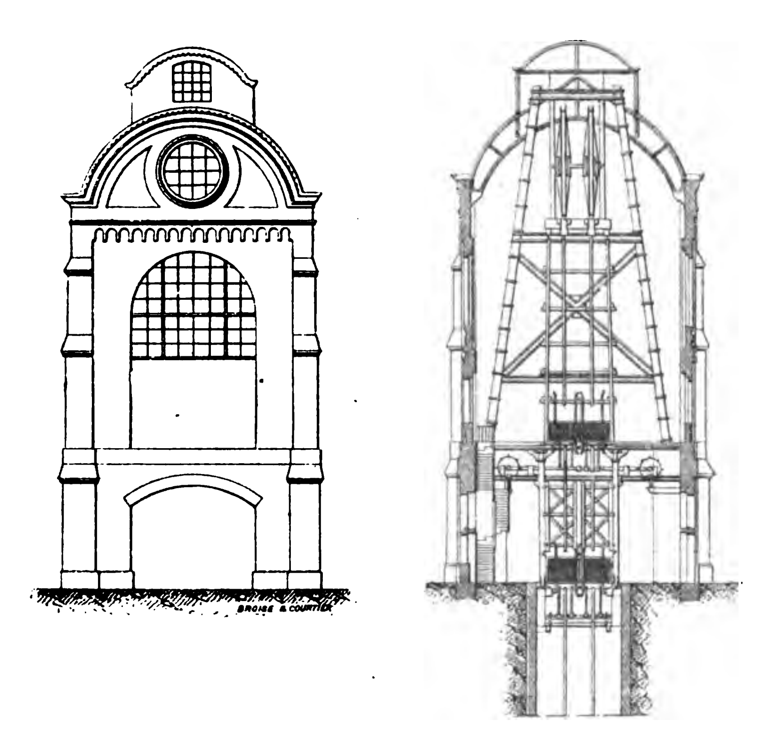


Fig. 479 et 480. Siège d'extraction de la fosse Renard n° 2 (Anzin) (coupe et élévation antérieure).

mais seulement jusqu'à un niveau intermédiaire, d'où elles sortent au jour en egalie.

Si la profondeur ainsi rachetée est peu considérable, on peut, pour plus de simplicité, laisser la machine au jour, et elle présente encore, dans ce cas, la particularité de la suppression du chevalet, les molettes se trouvant au ras du sol, au niveau des bobines. La distance de la recette au jour est toujours, en effet, plus que suffisante pour former l'équivalent d'un chevalement, sans quoi la combinaison n'aurait aucune raison d'être.

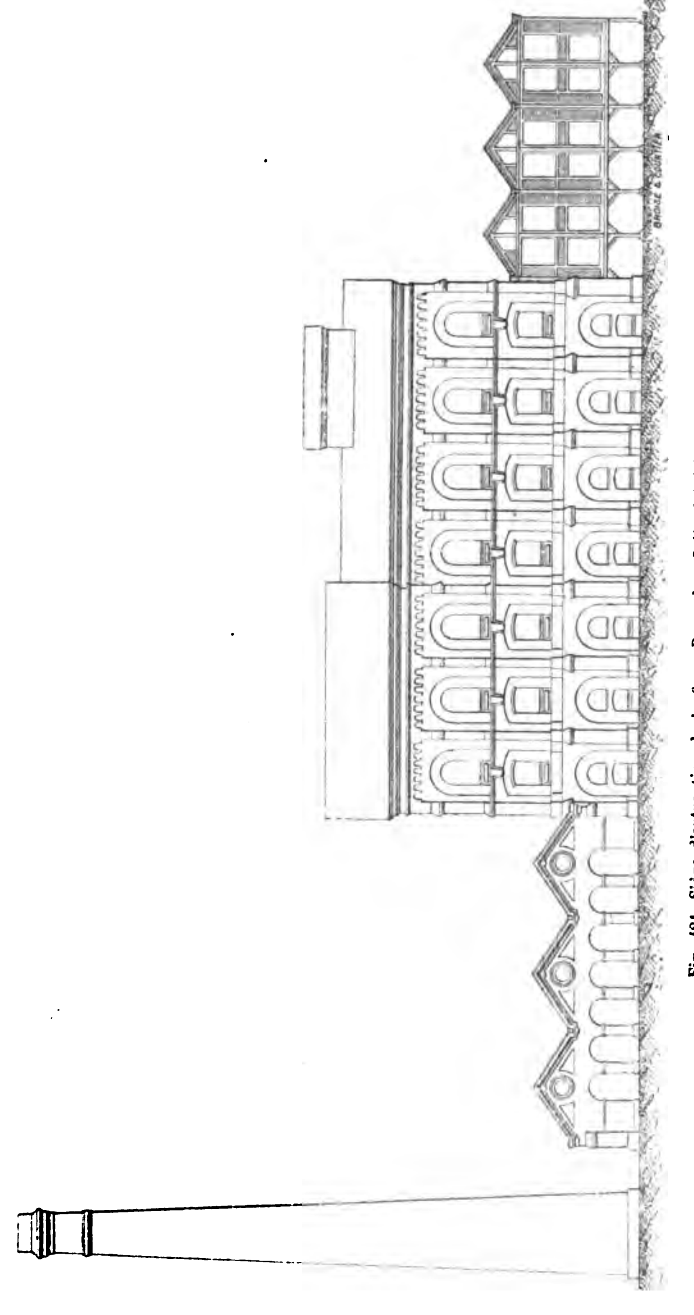


Fig. 481. Siége d'extraction de la fosse Renard n° 2 (Anzin) (élévation latérale).

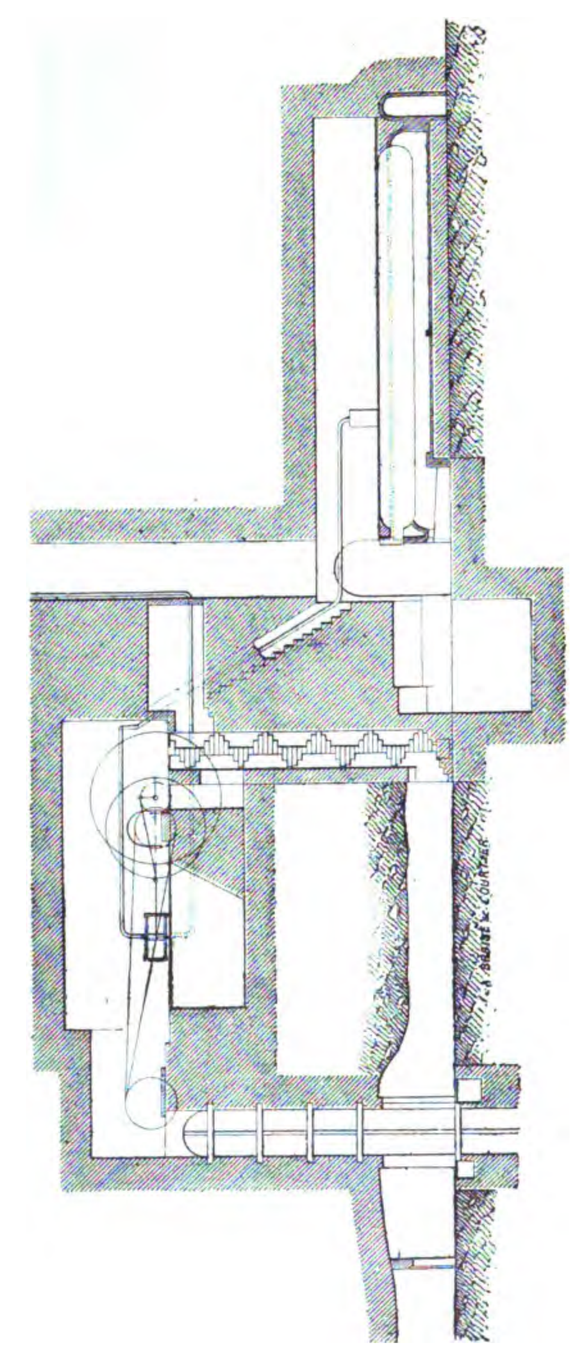


Fig. 482. Recette supérieure intérieure du puits central de Portes.

On peut encore signaler dans cet ordre d'idées, mais cette fois en conservant le chevalement, un dispositif exceptionnel qui se rencontre à la mine de Heg (près de Grund, Hartz). Le puits A (fig. 483) débouche en B sur la montagne. D'autre part, une galerie part du fond de la vallée en C, et rejoint le puits à l'accrochage D. Il suffirait, d'après le principe précédent, d'extraire sur la hauteur AD, et d'effectuer ensuite le roulage DC, jusqu'aux usines qui se trouvent installées en C. Mais il existe en ce point une station balnéaire, d'où les étrangers seraient promptement chassés par le grillage des pyrites. Aussi les aires destinées à cette opération ont-elles été installées en B. On extrait donc le minerai à la manière ordinaire jusqu'en B, puis on le redescend à charge, après grillage, de B en D, et l'on roule les matières jusqu'à la fonderie, dans la galerie DC. Cette opération compliquée a paru, en raison des conditions de la surface, plus avantageuse que l'installation de plans automoteurs extérieurs, sur les déclivités du profil BC.

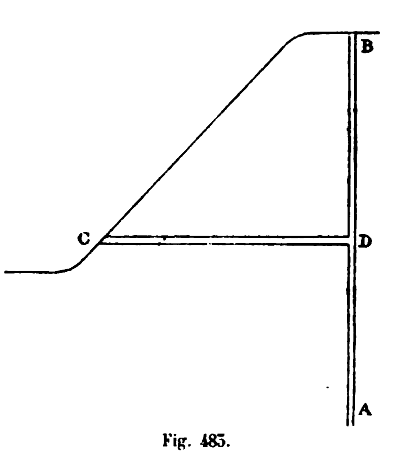


Fig. 483.

754 — *Molettes.* — On désigne sous le nom de *molettes*, de grandes poulies destinées à renvoyer le câble, de la bobine dans le puits (fig. 484, 485). Le diamètre doit être considérable, surtout pour les câbles d'acier. On l'a, dans ce dernier cas, poussé jusqu'à 6 mètres, et il ne doit pas être inférieur à 4 mètres. A cet égard, on a indiqué le chiffre de 1000 à 1400 fois le diamètre du fil de fer élémentaire qui entre dans la composition du câble, et 2000 ou 2100 fois celui du fil d'acier. Pour les textiles, on prend 50 fois le diamètre du câble lui-même [1].

[1] Reuleaux (*Le Constructeur*) admet seulement 555 diamètres pour le fil de fer, et 25 fois le diamètre du câble de textiles. On a été, quoique rarement, dans certaines mines, jusqu'à 80 et 100 fois la valeur de ce dernier.

Quant à l'angle que forment entre eux les deux brins du câble, il ne doit pas être inférieur à 40 ou 60 degrés pour le fer. L'importance de cet élément diminue à mesure que le rayon d'enroulement augmente.

L'obliquité sous laquelle le câble rond se présente par rapport au plan de la poulie, suivant les progrès de son enroulement sur le tambour, a l'inconvénient de déterminer des frottements fâcheux sur les joues des molettes et sur les spires du treuil. On a réussi à diminuer son maximum jusqu'à $0^m,16$ pour 30 mètres de distance, soit un rapport de 0,0053. En revanche, on l'a porté dans d'autres cas à $0^m,71$ pour 20 mètres, d'où un rapport de 0,0330. On a imaginé, pour supprimer complètement cette influence, une molette à vis. L'axe de rotation est alors fileté et engagé, non plus dans des paliers ordinaires, mais dans des écrous, de manière à déplacer le plan de la bobine parallèlement à lui-même, en le maintenant constamment en face du point d'enroulement sur le tambour.

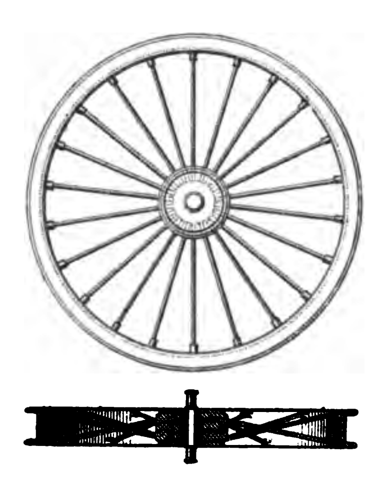


Fig. 484 et 485. Molette (élévation et coupe horizontale).

On a aussi employé des suspensions à ressort, pour amortir la transmission au chevalement, des vibrations éprouvées par le câble. Ce dernier s'appuie sur une garniture de bois dans le fond de la gorge, qui est munie de deux joues pour empêcher la chute du câble. Cette gorge est en fonte. Les bras de fer y sont noyés. Ils sont implantés sur l'axe de fer, en dessinant les génératrices de deux troncs de cône, qui seraient opposés par la grande base.

On a essayé (¹) de supprimer les molettes, en plaçant les bobines au niveau du sommet du chevalement, et à l'aplomb de l'axe du

(¹) A la mine du Lac (Ardèche), en raison de convenances particulières, en dehors desquelles cette combinaison ne serait pas à recommander.

puits, avec adjonction, à un niveau inférieur, d'un rouleau de renvoi, pour tenir compte de la variation du rayon d'enroulement. A cet effet, l'orifice du puits a été recouvert d'une voûte d'arête, sur la plate-forme de laquelle se trouve installée la machine d'extraction, tandis qu'un orifice, percé dans le cerveau de cette voûte, permet au mécanicien d'apercevoir les manœuvres de la recette.

755 — *Évite-molettes.* — On désigne sous ce nom divers appareils de sûreté, destinés à empêcher que, par une inadvertance du mécanicien, la cage, au lieu de s'arrêter à l'orifice du puits, ne soit *envoyée aux molettes*, en y déterminant un choc destructeur à la fois du câble, des molettes, de la cage et, par-dessus tout, des hommes que celle-ci peut renfermer [1].

Un premier principe, le meilleur assurément, consiste à faire exécuter automatiquement par l'appareil la manœuvre du moteur, que la distraction du mécanicien lui a fait accidentellement omettre, ainsi que d'autres mouvements de nature à réparer les conséquences de cet oubli [2]. On dispose à cet effet, à la limite de hauteur que ne doit pas franchir la cage, un taquet qui actionne, à l'aide de tringles de renvoi, les organes de la machine motrice, en fermant le régulateur d'admission, ouvrant les purgeurs, engageant le frein à vapeur, ou même la contre-vapeur. Si le frein est assez énergique, et la hauteur du chevalement suffisante, le choc sera ainsi évité.

A Nixon's Navigation (South-Wales), un engrenage, à rapport de vitesse très réduit, tourne avec l'arbre de la machine, en ne faisant qu'un demi-tour par ascension. Il vient engager le frein aux extrémités, de manière à arrêter la machine au point voulu si le mécanicien n'est pas sur ses gardes. Quand, au contraire, ce dernier est attentif, il débraye l'engrenage avant la fin de la course, afin de gouverner lui-même.

Il est bon de faire manœuvrer directement par l'évite-molettes

[1] *Bull. min.*, 1re, IV, 777; 2e, IV, 330, 332.

[2] Modérateur de vitesse Wéry (*Bull. min.*, 2e, XIII, 203. — *CRM*, 184, 66). — Delsaux (*Rev. univ. d. m. et u.*, 1re, VII, 369).

un tiroir accessoire, et non le tiroir ordinaire, de peur que le levier de distribution, ainsi déplacé, ne vienne frapper le mécanicien.

D'autres moyens d'action, négligeant le moteur, exercent leur influence dans l'appareil d'extraction lui-même. Mais ce ne sont que des palliatifs qui, en évitant le désastre complet, le remplacent par un dérangement d'une importance secondaire et plus facile à réparer. On a, dans cet ordre d'idées, prolongé le guidonnage dans l'intérieur du chevalement, en le rétrécissant légèrement par une faible convergence des longuerines, qui cessent par là d'être, comme dans le puits, rigoureusement parallèles. La cage s'arrête donc nécessairement à un certain point, et y reste ordinairement coincée. Sinon, elle retombe sur son parachute, ou mieux, sur un clichage spécial, que son passage à une certaine hauteur a fait saillir au-dessous d'elle. Le câble, ordinairement brisé par le choc, saute par-dessus la molette et se trouve renvoyé sur la chambre des machines, dont il brise la toiture en y exerçant de grands ravages.

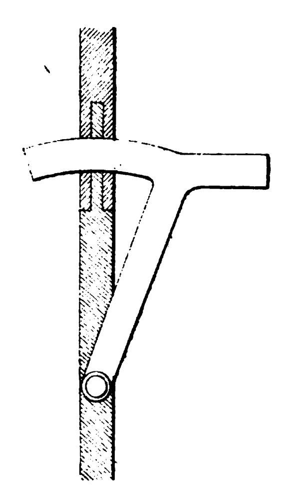


Fig. 486. Évite-molettes. (Diagramme schématique.)

On a parfois, en acceptant ces dernières éventualités, cherché à éviter du moins le choc qui provoque la rupture du câble, et qui fatigue à la fois celui-ci et le chevalement. A cet effet, on dispose une cisaille qui, engagée par la montée de la cage, tranche le câble, ou une pièce en laiton, appartenant à l'attelage [1].

On a également imaginé un déclenchement spécial (fig. 486), qui fait partie de cet attelage et se débraye en arrivant au niveau dangereux. A cet effet le taquet, butant contre un arrêt fixe, se trouve forcé de basculer autour du centre de l'arc de cercle. Celui-ci sort ainsi de l'œillet, dans lequel il est engagé pour réunir les deux pièces qui tiennent, l'une à la cage et la seconde au câble. Mais on doit considérer

[1] Évite-molettes Walker.

comme dangereux d'introduire un assemblage aussi précaire, dans un organe qui doit présenter autant de sécurité que l'attelage.

La même objection s'applique à des déclics, analogues à celui qui figure dans la sonnette du battage des pilotis.

Lorsqu'au lieu de cages guidées, on emploie des bennes libres, qui ne servent jamais à la descente des hommes, on se contente parfois de disposer, sous les molettes, un rempart qui dévie le cuffat à son arrivée. Celui-ci se trouve alors entraîné par-dessus la poulie, et va retomber de l'autre côté, en se brisant, mais sans détruire les molettes et la partie supérieure du chevalement.

§ 5

BOBINES

756 — L'organe d'enroulement du câble peut être varié de bien

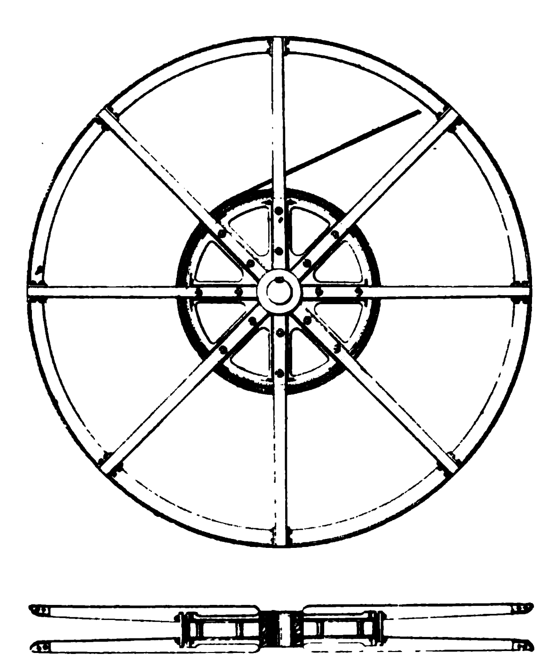


Fig. 487 et 488. Bobine (élévation et coupe horizontale).

des manières, en vue de la régularisation du travail de la machine.

Nous consacrerons à cette étude théorique la totalité du chapitre XXXIII, et nous nous contenterons en ce moment, pour compléter la connaissance de l'appareil d'extraction sans y laisser une telle lacune, de décrire celui de tous ces dispositifs qui est, de beaucoup, le plus employé, sous le nom de ***bobines*** (fig. 487, 488).

Chacune des deux bobines consiste en un treuil extrêmement court, dont les génératrices ont pour longueur la largeur du câble plat [1], augmentée d'un faible jeu. Ce câble s'y enroule sur lui-même en spirale. Pour empêcher que l'entassement des spires ne finisse par provoquer leur déversement, on les maintient entre deux systèmes de bras latéraux, encastrés dans le tourteau métallique qui porte le nom d'*estomac* de la bobine.

Un certain nombre de tours de câble restent accumulés sur l'estomac, sans se dérouler à chaque cordée. Ils constituent, sous le nom de *fourrure*, une provision destinée à fournir les rallonges nécessaires pour les coupages à la patte, les épissures, etc. La somme du rayon du noyau métallique, augmenté de l'épaisseur de la fourrure, forme le *rayon initial* de l'enroulement, élément essentiel de la régularisation dont la valeur sera assignée par la théorie (n° 798). Ce paramètre tendrait donc à diminuer par les emprunts faits successivement à la fourrure. Pour lui maintenir une valeur invariable, on a soin de dérouler une partie de cette dernière, et de la réenrouler avec intercalation d'un tronçon de vieux câble, qui vient prendre la place des spires ainsi supprimées, et rétablir leur épaisseur.

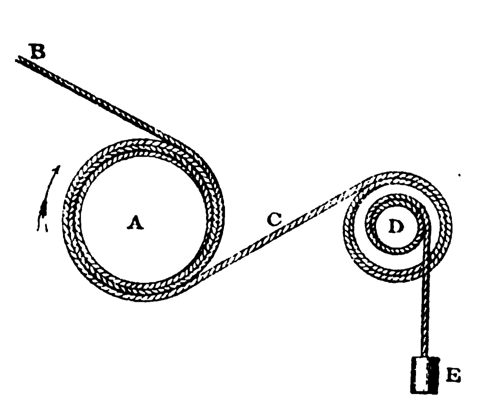


Fig. 489. Multiplicateur d'épaisseur

On a même étendu ce

[1] On a même employé des bobines encore plus étroites, pour les adapter à l'usage du câble rond, considéré comme présentant plus de sécurité (*CRM*, 1879, janvier, 8. — *Rev. univ. d. m. et u.*, 2e, IV, 216, Ch. Demanet).

principe d'une manière ingénieuse, quoique un peu compliquée (fig. 489), en vue d'obtenir une régularisation convenable, lorsque l'épaisseur du câble, qui figure à l'état de paramètre dans la théorie, devient insuffisante, ce qui est souvent le cas de l'acier (¹). On constitue alors l'enroulement sur la bobine A par la superposition de deux câbles plats distincts, à savoir : le câble porteur B et un vieux câble C, qui ne joue qu'un rôle de présence, en intercalant ses spires entre celles du précédent. A cet effet, il se déroule à chaque cordée d'un tambour spécial D, sur lequel il se trouve en provision, tandis que la bobine tourne dans le sens de la flèche, en enroulant le câble porteur. Il s'enroule ensuite de nouveau sur le tambour D pendant la course inverse, sous l'influence d'un poids tenseur E, élevé, pendant le mouvement précédent, d'une certaine hauteur qu'il va maintenant redescendre.

Les deux bobines sont calées sur le même arbre, en tournant dans le même sens. Par conséquent, pour que l'un des câbles puisse monter en même temps que l'autre descend, il faut que le premier s'enroule par-dessus les bobines, et l'autre par-dessous. Tous deux, du reste, passent nécessairement au-dessus des molettes. D'après cela, l'un des câbles se dispose suivant la tangente commune extérieure des deux cercles, et l'autre suivant la tangente intérieure (fig. 519). Le premier oscillera donc alternativement de la forme courbe à la forme rectiligne, tandis que le second se ploie alternativement dans deux sens contraires, ce qui lui occasionne un supplément de fatigue (nº 730).

L'arbre des bobines doit être installé à une distance du chevalement d'au moins 25 mètres, et même 40 mètres. Sans cela, en effet, la tangente commune des molettes et des bobines serait très inclinée et ferait un angle trop prononcé avec le brin vertical du câble. Toutefois, lorsque la distance est trop grande, la portion intermédiaire fait chaînette par son poids, et, si le mécanicien n'a pas la précaution de *mettre au raide* doucement avant d'*enlever en vitesse*, il détermine un choc violent appelé *coup de fouet*, dont

(¹) Les câbles plats d'acier de la mine d'Ems ont une épaisseur de 7 millimètres, pour une largeur de 7 centimètres, une hauteur de 210 mètres, et un enlevage utile de 1000 kilogrammes.

l'influence sur le câble est très nuisible (n° 750). En outre, le mécanicien, trop éloigné de l'orifice du puits, ne peut plus se rendre un compte aussi distinct de ce qui s'y passe, pour faciliter l'intelligence des signaux qui lui sont adressés.

757 — Lorsque le trait doit desservir successivement plusieurs étages, il devient nécessaire d'employer des artifices particuliers.

Un premier moyen consiste à sortir complètement l'un des câbles, à le détacher de la cage, qui reste sur le clichage, et à le fixer à la bobine, pour qu'il ne se déroule plus, quand celle-ci tournera en sens contraire. On effectue alors ce mouvement inverse, en montant la seconde cage sans équilibre, jusqu'à ce qu'elle soit parvenue au nouvel accrochage. A ce moment, on rend la liberté au premier câble, et on le rattache à sa cage, après quoi le mouvement alternatif peut s'effectuer entre ce second envoyage et le jour.

Un autre procédé consiste dans l'emploi d'une *bobine folle*, que l'on peut, à volonté, caler sur l'arbre ou rendre indépendante. Au moment où l'on veut changer d'étage, on retire le pistonnier qui établit leur solidarité. Cette bobine, devenue libre, reste en place, tandis que l'on fait tourner la seconde avec l'arbre, de manière à conduire au niveau voulu la cage correspondante. On cale alors la bobine folle, et le trait recommence.

Pour faciliter cette opération, au lieu de retirer de toute sa longueur le prisonnier, ce qui exigerait un nombre considérable de tours de vis, et une certaine perte de temps, M. Paul Fayol compose cette clavette de plusieurs travées alternatives, d'épaisseurs égales. Le logement qui lui est préparé dans la masse du noyau se trouve constitué de la même manière. Dans ces conditions, si l'on déplace la vis, non plus de toute sa longueur, mais seulement de celle d'une travée, les parties larges de la clavette se trouvent en regard des vides larges, ce qui permet l'indépendance des rotations. Au contraire, par le mouvement inverse, on fait rentrer les parties larges dans leur logement, où elles remplissent l'office de prisonnier en rétablissant la solidarité de l'arbre et du tourteau. La durée de cette manœuvre est, à Carmaux, de 6 minutes.

L'emploi de la bobine folle permet, en outre, de sortir entièrement les deux câbles, lorsque le trait est fini, afin de les soustraire à l'humidité du puits. Il sert également pour rendre du câble aux dépens de la fourrure, ou, inversement, pour y réenrouler les allongements qui se produisent d'une manière sensible, pendant les premiers jours de la mise en service.

§ 6

RECETTES

758 — *Clichages.* — On ne saurait se contenter de faire arrêter à peu près la cage devant la galerie de l'accrochage. Il est nécessaire de réaliser une coïncidence rigoureuse entre les rails de cette cage et ceux de la recette, et de lui donner une base ferme pour l'entrée et la sortie des berlines. Aussi commence-t-on par enlever au jour la cage pleine, un peu au-dessus de ce niveau. Les *moulineurs* font alors jouer un système de taquets appelé *clichage* (fig. 490, 491), et donnent un signal au mécanicien, qui redescend lentement, de manière à déposer doucement la cage. Quand les manœuvres sont effectuées, le machiniste, averti par un nouveau signal, enlève un peu la cage; les accrocheurs effacent le clichage, et le mécanicien attaque en grande vitesse.

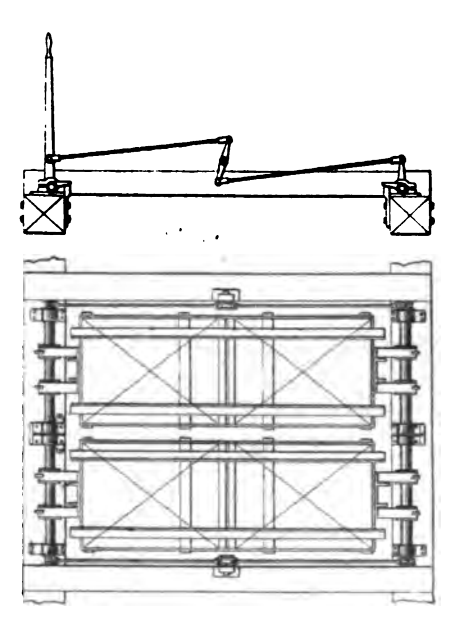


Fig. 490 et 491. Clichage (plan et élévation).

M. Beer a proposé, au lieu de soutenir la cage par-dessous sur

les clichages, de l'y suspendre par sa partie supérieure. De cette manière, toutes ses parties, travaillant par traction, se trouvent placées dans des conditions plus favorables. On en peut donc, dans certaine mesure, diminuer les calibres, ce qui contribue à alléger le poids mort.

Il existe deux sortes de clichages : à *loquets* ou à *verrous*. Ces derniers, qui ne sont susceptibles que d'un mouvement horizontal, présentent un grand danger, si une inadvertance des receveurs les engage mal à propos. La cage qui vient les heurter en pleine marche doit nécessairement les cisailler, ou rompre son câble, en se disloquant elle-même. Si elle contient des hommes, ils risqueront d'avoir la colonne vertébrale brisée. Au contraire, un loquet se laisse facilement soulever par la cage remontante et retombe après son passage. L'inconvénient subsiste, à la vérité, pour la course descendante, au même degré qu'avec les verrous, mais, du moins, les mauvaises chances se trouvent ainsi réduites de moitié.

Certains clichages sont disposés de manière à être normalement effacés par l'influence d'un contrepoids, et à ne pouvoir être fermés que par la volonté expresse du moulineur, s'exerçant au moment nécessaire.

On a également établi, au charbonnage de Belle-et-Bonne (Flénu), des *évite-taquets*. On adapte alors au clichage, pendant le temps où il doit être effacé pour le service d'un étage inférieur, un appendice que la cage descendante rencontre à 3 mètres au-dessus du clichage, si celui-ci a été fermé par inadvertance. Elle écarte alors cet appendice par son passage, en rouvrant les taquets.

759 — Pour diminuer encore la probabilité d'une erreur dans la perception des ordres envoyés du jour aux clicheurs des divers niveaux, en vue de permettre le passage de la cage aux accrochages intermédiaires, on a installé, au charbonnage du Hasard (Liège), sous le nom de *sémaphore des mines*, un appareil qui a pour but de rendre tous les clichages solidaires, à l'aide d'une tringle qui règne du haut en bas du puits. Un aide du mécanicien les manœuvre à partir de la surface. Sachant où se rend la cage, par l'avertissement direct qu'on lui en donne, il tient tous les

niveaux ouverts sur son passage. Quand elle a franchi l'avant-dernier envoyage, il abat à la fois tous les taquets, et le mécanicien arrête doucement sur ceux où il a l'ordre de déposer la cage.

760 — En se plaçant à un point de vue inverse, on a cherché à soustraire complètement les manœuvres des recettes au mécanicien d'extraction, avec lequel on ne peut échanger que des signaux assez imparfaits, tandis que les moulineurs savent mieux que personne ce qu'ils veulent produire. M. Reumeaux a, dans ce but, installé à Lens des *taquets hydrauliques* au nombre de quatre par cage [1]. En ouvrant le clapet A (fig. 492), les accrocheurs déterminent l'élévation du piston B, sous l'influence d'une pression hydrostatique importante. Le taquet C rencontrant, dans cette ascension, un arrêt fixe D, bascule et prend la position horizontale, malgré le contrepoids E, qui le maintient ordinairement renversé.

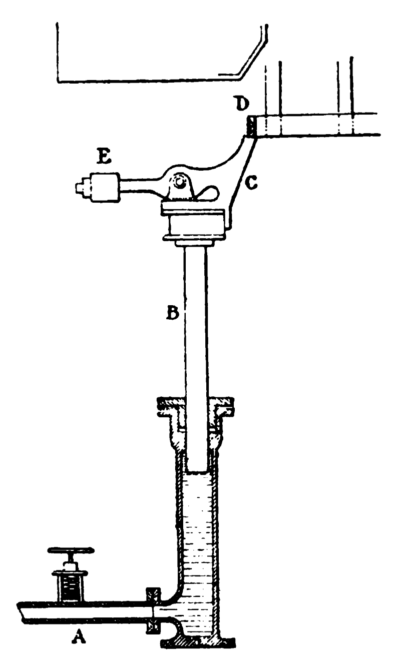


Fig. 492. Taquets hydrauliques.

On peut alors y recevoir la cage. Quand des wagons pleins ont remplacé les chariots vides du premier étage de cette cage, l'excédent de poids la fait redescendre avec les pistons, de manière à permettre le service de son second étage. C'est ce moment que représente la figure 492. Enfin, le signal étant donné au mécanicien, il enlève la cage au jour. Pour éviter les chocs et leurs conséquences, on a interposé un matelas élastique sur le tube de communication avec la colonne d'équilibre.

[1] *CRM*, 1877, janvier, 5. — *Rev. univ. des m. et u.*, 2e, VIII, 101.

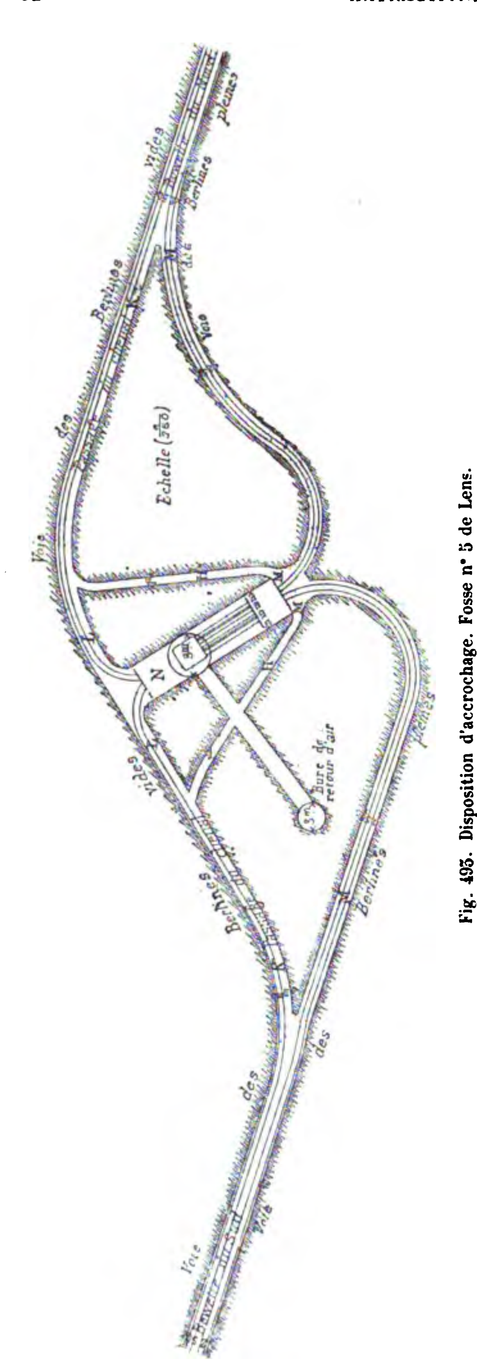


Fig. 495. Disposition d'accrochage. Fosse n° 5 de Lens.

Des taquets hydrauliques d'un dispositif différent ont été installés au puits Camphausen (Sarre) [1].

761 — *Accrochages souterrains.* — On doit recommander essentiellement de tenir fermé le débouché de la galerie dans le puits, pendant tout le temps où il ne se trouve pas obturé par la présence de la cage. On peut employer, à cet effet, une grille suspendue sur des chaines, qui passent sur des poulies et portent des contrepoids moins lourds que cette grille. Quand la cage descendante approche de la recette, elle vient appuyer sur ces contrepoids et enlève la grille dont elle prend la place. Lorsqu'elle remonte, la grille se remet en position.

D'autres fois, on dispose un clichage spécial qui arrête les wagons sur les rails, et empêche que,

[1] *Zeitschrift BHS*, 1882, XXX. 247.

par une fausse manœuvre, ils puissent être précipités dans le puits. On n'éprouve d'ailleurs par là aucune difficulté pour les engager dans la cage, car les taquets s'effacent d'eux-mêmes sous la pression exercée par cette dernière sur le clichage normal. Ils se redressent ensuite au moment de son départ. Le danger, ainsi supprimé pour les wagonnets, n'en subsiste pas moins pour les hommes. Il faut avoir, tout au moins, une chaîne tendue en travers de la recette. On a soin de l'ouvrir et de la remettre en place à chaque cordée.

762 — Si la cage est à double porte, les wagons pleins entrant par un côté, tandis que les chariots vides sortent par la face opposée, des bouveaux curvilignes permettent de ramener ceux-ci à la voie de roulage. On a soin d'en ménager également pour le départ du cheval qui se trouve en tête du train, et ne saurait toujours retourner par la même voie à cause du peu de largeur de cette dernière. La figure 493 présente le dispositif adopté à la fosse n° 5 de Lens, pour desservir deux quartiers de part et d'autre du puits.

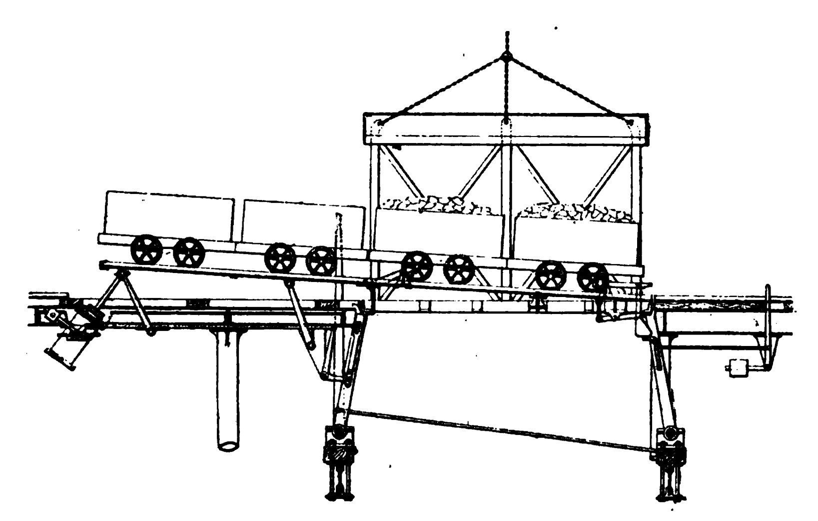


Fig. 494. Manœuvre automatique (Clifton-Colliery).

MM. Warsop et Hill ont employé [1] à la houillère de Clifton (Nottingham), pour faciliter l'embarquement et la sortie des wa-

[1] *The Engineer*, 23 juin 1882, p. 450.

gonnets, un plancher à soulèvement qui est actionné, à l'instant voulu, par un piston hydraulique (fig. 494). La cage est enlevée par le mécanicien au-dessus de la recette. Le système de leviers incline le plancher de l'accrochage en le faisant déborder légèrement sur le puits, la cage s'abaisse, et son propre plancher accroché par le bord de cet obstacle joue à charnière autour de son côté opposé. De là une inclinaison générale des rails qui portent les wagons pleins ou vides, laquelle favorise leur mise en mouvement.

Si la cage est à double étage, des bouveaux inclinés, analogues aux précédents, servent à raccorder les deux niveaux au tronçon commun de la voie de roulage, de manière à permettre des manœuvres simultanées et à diminuer les pertes de temps. Le plus souvent, cependant, on leur substitue l'emploi des *balances sèches* dont il sera question plus loin (n° 879). On peut aussi desservir tous les étages de la cage au même niveau de roulage, à l'aide des manœuvres effectuées par le mécanicien, d'après les signaux qui lui sont transmis par les hommes de la recette.

763 — Dans les mines où subsiste encore l'usage du cuffat, on a recours à des dispositifs spéciaux. On peut, comme dans l'ancien système, employer le *pas de cuffat* (fig. 495), c'est-à-dire un degré sur lequel, à l'aide de crochets, les enchaîneurs attirent la benne descendante. De cette manière, son orifice affleure au plan de la recette et l'on peut y effectuer facilement le déversement des wagonnets. Ce pas doit pouvoir contenir deux cuffats l'un à côté de l'autre, afin que le remplissage puisse s'effectuer en même temps que le mouvement. Quand une tonne a été remplie, on décroche les chaînes de la benne vide qui arrive, pour les rattacher à l'autre, et envoyer celle-ci au jour.

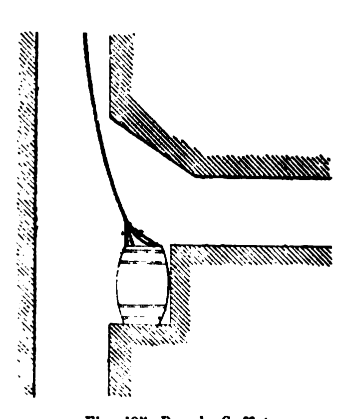


Fig. 495. Pas de Cuffat.

En Saxe, on emploie un plan incliné (fig. 496), destiné à con-

duire jusqu'à la benne, que l'on tient suspendue au-dessous, les matières que l'on y verse à travers une trappe.

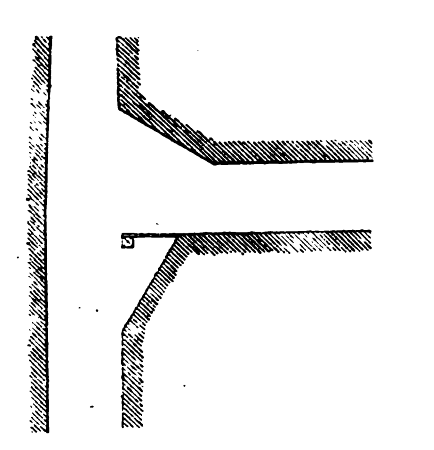


Fig. 496. Recette pour cuffat.

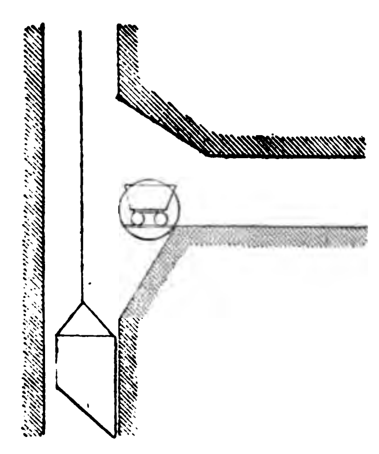


Fig. 497. Recette pour cuffat prismatique.

Dans certains puits de Westphalie, ce plan incliné existe de même (fig. 497), mais c'est un *culbuteur* analogue à ceux dont nous parlerons plus loin (n° 767), qui sert à y précipiter le contenu des berlines (¹).

764 — *Recette extérieure.* — Dans le système du cuffat prismatique, celui-ci peut rester adhérent au câble. Lorsqu'il est parvenu au jour, on se contente d'ouvrir une porte latérale à glissière, et le charbon coule au dehors sur le fond incliné de ce récipient.

Quand on emploie des tonnes, on les enlève à un niveau assez élevé (fig. 498) pour pouvoir les amarrer par le fond à un point fixe. Le mécanicien redescend alors la benne, qui chavire nécessairement.

D'autres fois, le cuffat est amovible. Le machiniste l'enlève au-dessus de l'orifice du puits, et abaisse ensuite doucement, pendant que les enchaîneurs attirent la benne avec des crochets, et la déposent sur un petit chariot. Ils la détachent du crochet de sûreté, en lui substituant un cuffat vide. Des rouleurs emmènent ce chariot

(¹) *Bull. min.*, 2ᵉ, IV, 549.

jusqu'au point où doit s'effectuer le déversement. Pour faciliter cette dernière opération, l'on fait porter la benne sur deux patins en forme de segment de cercle, qui permettent de lui imprimer des balancements progressifs, à la suite desquels un dernier effort arrive à la faire chavirer. Ces manœuvres sont extrêmement brutales, et exigent que le matériel soit établi d'une manière très robuste.

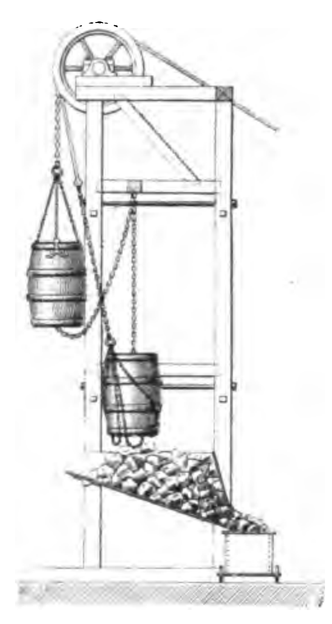


Fig. 498. Basculement du cuffat.

765 — Les opérations sont beaucoup plus satisfaisantes avec les cages guidées ([1]). On doit prendre alors, pour l'orifice des puits, les mêmes précautions qu'à l'intérieur, en vue de prévenir les chutes. Les bords latéraux sont garnis de parapets. Quant aux côtés qui servent pour le service, ils sont fermés par des grilles mobiles, que la cage enlève sur son toit, quand elle sort de terre, en prenant leur place, et qu'elle dépose sur leurs sièges lorsqu'elle retourne au fond.

766 — Dans les mines dont les puits sont étroits, ou le matériel roulant d'un petit calibre, on substitue au système ordinaire l'*extraction en chapelet* (fig. 499, 500, 501). Le câble supporte alors, au lieu de cage, deux montants verticaux munis de crochets, auxquels les bennes à roulettes se trouvent suspendues par les *oreilles* dont elles sont munies à cet effet. On en dispose ainsi quatre ou cinq l'une au-dessous de l'autre, et les manœuvres s'exécutent de la manière suivante.

On enlève le tout au-dessus du *plâtre* du puits. Les moulineurs approchent alors un pont volant, de manière à en fermer l'orifice.

([1]) Pernolet. Installation au jour des puits d'extraction (*Bull. min.*, 2e, III, 213).

Son tablier est percé, sur les côtés, d'ouvertures permettant le passage des tringles. Le mécanicien commence alors à redescendre doucement le système. La benne inférieure se pose sur le pont, tandis que les tiges, continuant à se dérober au-dessous, se dégagent

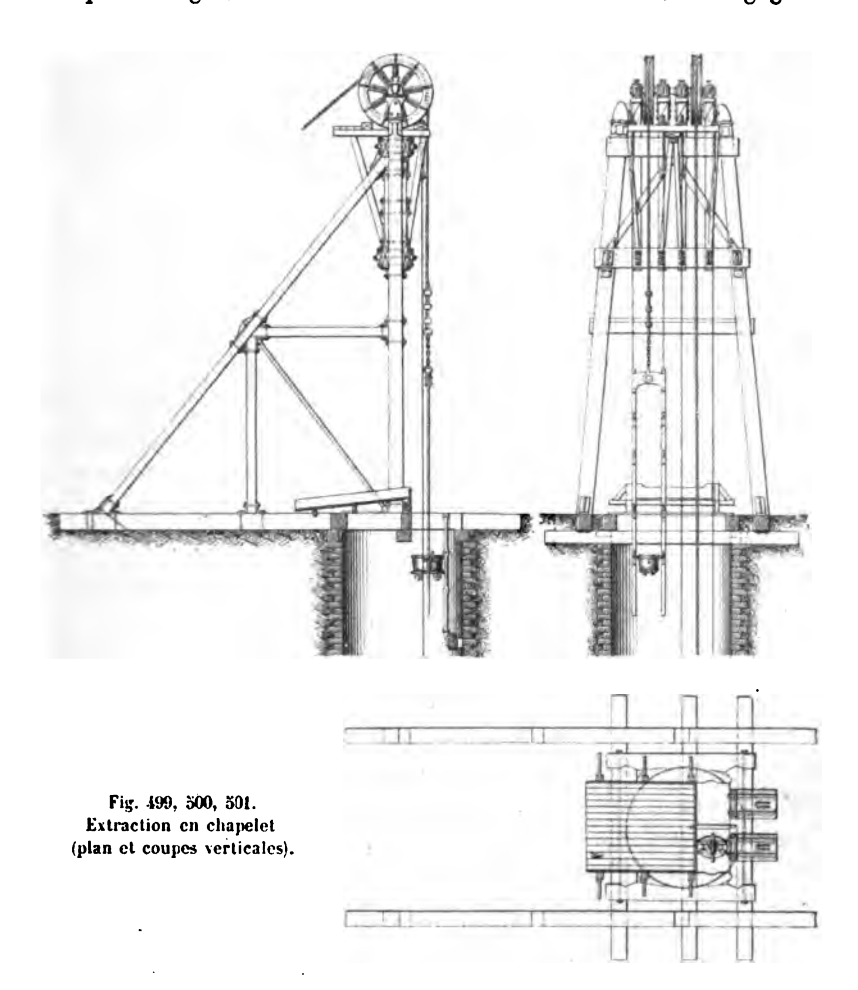


Fig. 499, 500, 501. Extraction en chapelet (plan et coupes verticales).

de ses oreilles. Les moulineurs tirent vivement à eux ce véhicule. Le second vient prendre sa place et subit le même sort, ainsi que tous les autres successivement. Quand le dernier a été retiré, les receveurs approchent une benne vide. Averti par leur signal, le machiniste remonte doucement. Les tringles accrochent cette benne par

les oreilles et l'enlèvent. On en amène une autre, que les montants saisissent avec leur seconde paire de crochets, et ainsi de suite. Tout l'ensemble étant ainsi remonté au-dessus de la recette, les moulineurs retirent le pont volant, et le puits se trouve libre pour la descente en vitesse.

Des manœuvres semblables se font pour l'accrochage inférieur. On voit, d'après cela, que ce service prend beaucoup de temps, et ne peut être employé que pour des extractions d'un tonnage limité.

§ 7

DÉCHARGEMENT

767 — *Culbuteurs.* — Un marqueur tient note, à l'orifice du puits, des wagons reçus. On peut se servir, pour cela, d'un tableau noir, avec inscriptions à la craie, ou d'un marquoir à crochets recevant les fiches métalliques mobiles, adaptées aux chariots par les piqueurs et les rouleurs du fond, qu'elles servent à désigner par leurs numéros. Les wagonnets passent à la bascule pour être pesés, s'il y a lieu, puis ils vont aux *culbuteurs*.

Ces appareils sont destinés à déverser d'une manière simple et rapide le contenu des berlines, qui reviennent ensuite sur la voie des vides, pour rentrer dans la cage et retourner au fond. Le réseau de rails qui conduit de l'orifice du puits aux divers culbuteurs doit être étudié avec soin, en vue d'éviter la confusion et de permettre la plus grande célérité possible. Il dépend d'ailleurs essentiellement des conditions locales, et ne saurait comporter aucun type nécessaire. Je me bornerai à décrire comme exemple celui qui a été disposé à la fosse n° 5 de Lens.

La cage, occupant une moitié du puits, est à deux étages de deux voies à deux berlines, ce qui représente un total de 8 véhicules. Chacune des deux voies placées en regard de cette moitié du puits se bifurque deux fois, et cet ensemble se raccorde avec l'autre moitié, de telle sorte que ce réseau se termine par 8 têtes de ligne, disposées suivant une perpendiculaire à l'axe de symétrie de l'orifice. Elles

aboutissent à 8 culbuteurs, qui déversent les produits sur 8 tables mobiles de triage (chap. LII), dont le mouvement s'effectue normalement à cet alignement.

768 — Le culbuteur ordinaire (fig. 502, 503, 504) consiste en une roue non centrée. Dans sa position d'équilibre stable, pour la-

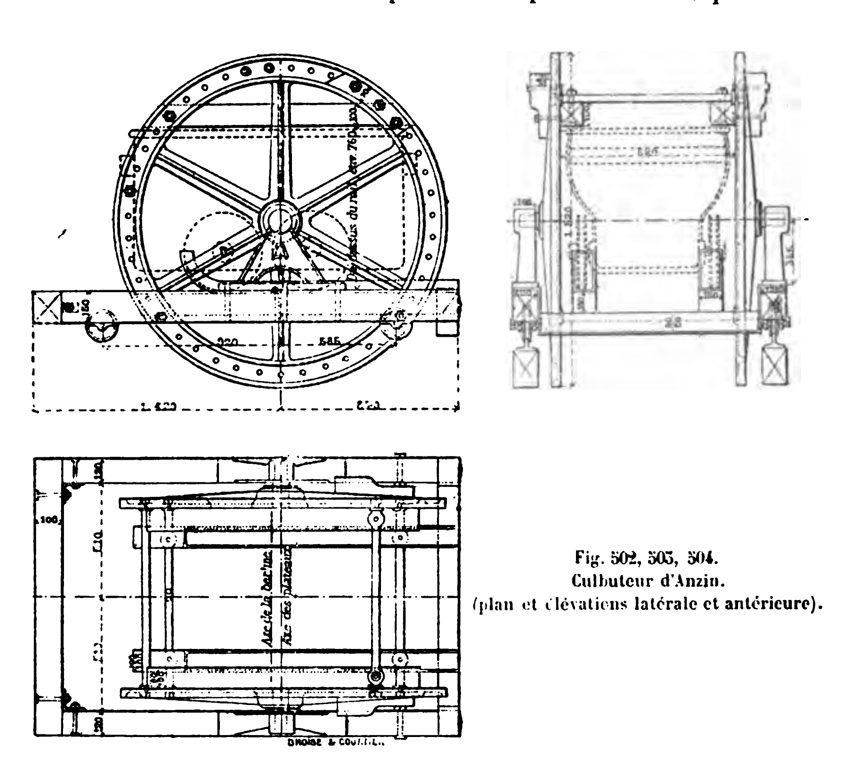


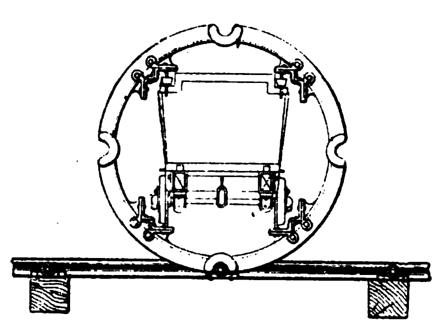
Fig. 502, 503, 504.
Culbuteur d'Anzin.
(plan et élévations latérale et antérieure).

quelle le centre de gravité se trouve directement au-dessous de l'axe de rotation, les rails disposés suivant les génératrices de ce cylindre se trouvent en prolongement de la voie d'arrivée. On y introduit le wagon plein. Le nouveau centre de gravité, ainsi relevé, se trouve alors au-dessus de l'axe, et, par suite, dans une situation instable qui chavire immédiatement. Le chariot, renversé sens dessus dessous, est retenu au-dessus du vide, à l'aide de brides dans lesquelles il se trouve engagé. Dès que le déversement de la charge est effectué, le troisième centre de gravité se retrouve de l'autre côté de

l'axe. Le système ne saurait donc rester dans cette position, et il revient à sa situation normale. Le véhicule vide est retiré et ramené au puits.

Dans certains culbuteurs, le corps de la roue, qui n'est nullement indispensable, se trouve supprimé. Le système tournant se réduit alors au palier qui porte les rails et aux brides de retenue.

769 — Le basculeur Marsaut (fig. 505) n'est plus, comme les précédents, un corps assujetti à tourner sur un axe fixe. Il est formé d'un grand cylindre ayant pour longueur celle d'un ou de deux wagons. Il peut rouler sur des rails transversaux à ceux de l'arrivée des véhicules. A cet effet, il est constitué par des bandages circulaires, qui servent de jantes pour ce roulement, et des rails intérieurs assemblant les précédents suivant les génératrices, et destinés à l'engagement des wagons, qui restent fixés par des manettes. Le culbuteur étant arrêté en face de la voie d'arrivée, et enclanché par des crans, on amène un ou deux chariots à son intérieur. On pousse transversalement le cylindre. La situation surélevée du centre de gravité, due à l'introduction des wagons pleins, favorise ce basculement. Après un roulement d'une demi-circonférence, ceux-ci se trouvent renversés au-dessus du vide pratiqué dans le plancher. Le basculeur revient alors à sa position par un roulement inverse, à moins que, par un nouveau roulement d'une demi-circonférence effectué dans le même sens, on ne le porte jusqu'à une seconde voie. On retire les wagons vides. Dans certains cas, ceux-ci traversent le cylindre de part en part, et s'en retournent au puits par des voies en prolongement, pour éviter les mouvements rétrogrades.


Fig. 505. Verseur roulant Marsaut.

Cet appareil présente l'avantage de supprimer le graissage de l'axe du culbuteur, ainsi que les chocs brusques qui brutalisent le

matériel, et dont l'intensité serait encore augmentée à Bességes, où il se trouve employé, en raison des grandes dimensions que l'on y donne au matériel roulant.

770 — Quelquefois, au lieu de culbuter les wagons sens dessus dessous, on effectue un basculement latéral jusqu'à un certain degré d'inclinaison; à la main, pour le petit matériel (fig. 506), ou à l'aide

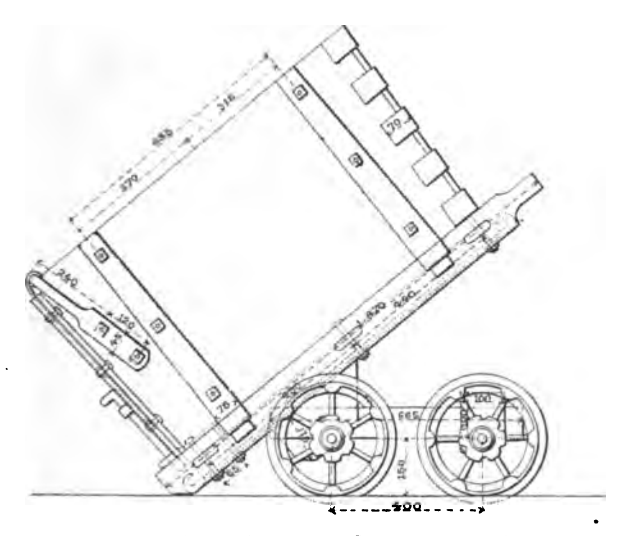


Fig. 506. Wagon-basculeur de Blanzy pour remblais.

d'un élévateur hydraulique ([1]) (fig. 507), ou à vapeur (n° 883). A ce moment, on déclanche la clavette de la paroi, qui s'ouvre autour d'une charnière supérieure et laisse couler le chargement.

On a construit également ([2]) un wagon s'ouvrant par les côtés. Le fond est formé de deux plans, inclinés de part et d'autre de l'axe longitudinal comme les deux pans d'un toit. Le charbon s'écoule seul, en raison de cette pente, sans que l'on ait besoin d'opérer aucun basculement.

On peut encore ([3]) éviter ce soulèvement d'une autre manière.

([1]) A Bruay, à Lens (Pas-de-Calais); à Molières (Gard).
([2]) A Graissessac.
([3]) Aux mines de fer de Rochoule (Gard).

Les deux moitiés du wagon sont assemblées à charnière suivant l'axe transversal du rectangle supérieur, et par une clavette suivant celui du fond. En enlevant cette clavette, on voit chaque moitié

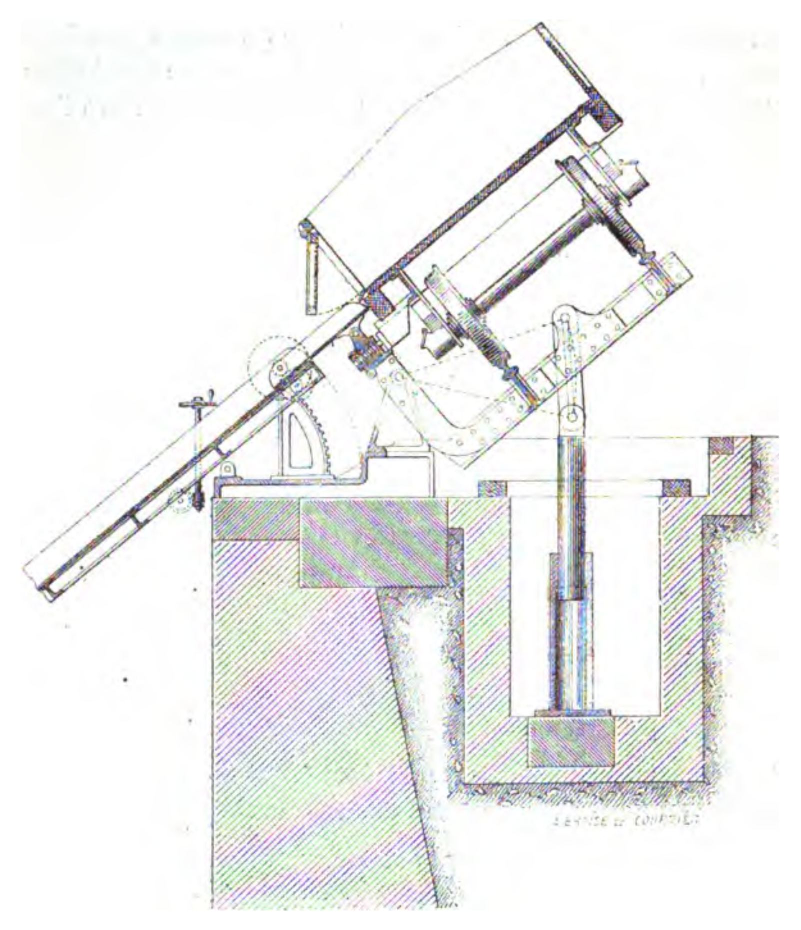


Fig. 507. Basculeur hydraulique Fougerat.

s'incliner en dedans sur son essieu, en dessinant autour de la charnière supérieure la forme d'un Λ. La pente que prennent ainsi les deux moitiés du fond suffit pour faire couler la charge entre elles.

771 — *Réserves.* — Le charbon ainsi basculé tombe sur de grands plans inclinés qui, pleins ou à claires-voies, fixes ou oscil-

lants, servent à effectuer un triage sur lequel nous reviendrons plus tard (n° 1274) avec les détails nécessaires, car cette opération fait partie de la préparation mécanique.

Quand il s'agit de matières très denses, telles que le minerai de fer, on ferme ces glissières à leur partie inférieure par de lourdes plaques de tôle, qu'on laisse pendre verticalement autour de charnières horizontales disposées suivant leur côté supérieur. Elles reçoivent le choc produit par la descente de la charge, et s'entr'ouvrent pour achever plus doucement le déversement dans les wagons, qui pourraient, sans cela, être défoncés par la force vive acquise.

Tantôt les matières tombent directement dans les wagons du chemin de fer industriel, embranché sur les grands réseaux pour les relier avec les puits; tantôt on embarque les produits, soit au carreau même de la mine, soit à quelque distance, dans les bateaux de la navigation fluviale ou maritime, au moyen d'appareils spéciaux appelés *rivages*, et qui seront décrits plus loin (n° 883).

Dans d'autres cas enfin, entre le culbutage immédiat du wagonnet de la mine, qui doit retourner au fond sans perte de temps, et le chargement des véhicules du commerce, le charbon subit un stationnement plus ou moins prolongé dans de grandes trémies, servant à son égouttage, après le lavage qui fait partie de la préparation mécanique (chap. LII), et à la régularisation des approvisionnements. Au puits de l'Alma (Westphalie), on voit de pareilles trémies trois ou quatre fois plus hautes que les wagons, et présentant 60 mètres de longueur [1]. Celles de Molières (Gard) peuvent contenir 250 tonnes.

772 — On peut aussi effectuer le stationnement sur des aires horizontales, situées plus bas que le plâtre du puits. Le plancher des voies ferrées destinées à la circulation des berlines se trouve alors supporté par des estacades. A Trieu-Kaisin (Belgique), les colonnes sont en fonte creuse et percées de trous. On y fait arriver, sous pression, de l'air qui s'échappe par ces orifices à travers le

(1) *Bull. min.*, 2e, IV, 848.

combustible entassé tout autour, en vue de le rafraîchir et de prévenir son inflammation spontanée.

Le gros est ordinairement disposé à la main, et l'on pratique dans sa masse des caniveaux et des cheminées verticales, ménagés à l'aide de fascines et de fagotages de manière à faciliter la circulation de l'air. La hauteur des empilements ne doit pas dépasser une hauteur déterminée, suivant le degré d'inflammabilité du combustible et sa disposition à l'échauffement et à l'altération spontanée (1).

(1) Henri Fayol. Études sur l'altération et la combustion spontanée de la houille exposée à l'air (*Bull. min.*, 2e, VIII).

CHAPITRE XXXIII

RÉGULARISATION DE L'EXTRACTION

§ I

GÉNÉRALITÉS.

773 — Dans la description de l'appareil d'extraction qui a formé l'objet du chapitre précédent, nous nous sommes, à dessein, borné à une simple indication d'un point très essentiel, nous réservant de consacrer à son étude approfondie la totalité du chapitre actuel. Je veux parler de l'irrégularité apportée dans la répartition des efforts, pendant toute la durée d'une cordée, par le poids du câble qui, au début, s'ajoute en entier à celui de l'enlevage, pour disparaître à la fin en raison de son enroulement; tandis qu'inversement le second câble, d'abord enroulé, s'ajoute vers la fin de la course à l'action de la puissance. De là un écart total égal au double du poids d'un câble.

Loin d'être négligeable, cette influence peut arriver à changer complètement les conditions du fonctionnement. Pour en donner une idée, dans des conditions très ordinaires, supposons quatre chargements de 400 kilogrammes de houille, et un câble de 400 mètres de profondeur, pesant 6 kilogrammes par unité de longueur. Si le rayon d'enroulement est supposé égal à 1 mètre, nous aurons pour moment initial le résultat suivant, puisque les poids morts des cages et des wagonnets s'équilibrent naturellement :

$$4 \times 400 + 400 \times 6 = 4000.$$

et pour moment final :

$$4 \times 400 - 400 \times 6 = - 800.$$

Le sens du moment se trouve ainsi interverti. Là où la puissance motrice de la vapeur était nécessaire pour effectuer l'enlevage, c'est maintenant le frein qu'il faut appliquer, pour empêcher la machine de s'emporter, et de tout briser en fin de course. L'écart total a pour valeur :

$$4000 - (-800) = 4800,$$

sa valeur moyenne :

$$\frac{4000 - 800}{2} = 1600.$$

et la variation relative, rapportée à cette valeur moyenne :

$$\frac{4800}{1600} = 3.$$

Il ne s'agit donc pas ici d'une perturbation de quelques centièmes, dont on pourrait, à la rigueur, faire abstraction; l'écart des valeurs extrêmes s'étend au triple de la valeur moyenne.

On comprend, par ce simple aperçu, qu'il s'agit là d'une influence absolument décisive dans le problème de l'extraction. Bien des efforts ont été dirigés dans ce sens. Ils ont conduit à un assez grand nombre de solutions que nous allons passer en revue.

774 — Le problème consiste à réaliser l'uniformité du mouvement pendant l'ascension, en faisant abstraction de deux courtes périodes, de mise en train au commencement, et de ralentissement avant l'arrêt. Comme l'accélération angulaire d'un corps tournant est proportionnelle à la somme algébrique des moments des forces qui le sollicitent, il faudra, pour l'annuler, maintenir en parfaite égalité,

à chaque instant, le moment moteur créé par la machine à vapeur, et le moment résistant développé dans l'appareil d'extraction.

Deux moyens se présentent à cet égard. Le premier consiste à accepter la variation qui prend naissance dans l'appareil d'extraction ainsi qu'il a été expliqué, sans rien faire pour s'y opposer, et à la compenser à chaque instant par une variation égale de la puissance du moteur. Ce principe a été réalisé par le *système Guinotte*. Mais son étude fait partie de celle des moteurs, et trouvera sa place dans le chapitre suivant (n° 817).

775 — Un moyen inverse consiste à ne demander au moteur, en vue de son bon fonctionnement, qu'un effort constant et, par suite, à réaliser de même la constance du moment de la résistance. On introduira donc dans l'appareil d'extraction les palliatifs nécessaires pour y compenser les effets de l'enroulement du câble. Mais ceci encore peut se faire par deux voies différentes. Si l'on remarque, en effet, que les forces s'introduisent dans l'expression du moment résistant, à la fois par deux facteurs distincts, leur intensité et leur bras de levier, on a le choix d'influencer l'un ou l'autre.

En ce qui concerne le bras de levier, il s'agit de le faire varier à chaque instant en raison inverse de l'intensité actuelle du poids de l'enlevage, afin que le moment reste constant. Il suffit, pour cela, d'effectuer l'enroulement, non plus sur un cylindre dont le rayon resterait constant, mais sur un corps de révolution dont le profil méridien soit tellement choisi, que le rayon de l'enroulement ait continuellement la valeur en question. Cet organe a reçu le nom de *tambour spiraloïde* (fig. 508), attendu que, pour en assurer le fonctionnement, on y ménage une spirale à double courbure, dans laquelle vient se loger le câble rond. La théorie de cet appareil formera le paragraphe 4.

Dans la pratique courante, on s'est souvent contenté d'une approximation, en substituant à la courbe du profil rigoureux une droite qui s'en écarte peu en réalité. On obtient ainsi les *tambours coniques* (fig. 509). La plupart du temps, ils sont assujettis sur un axe horizontal. Dans le Cornwall, on dispose souvent ces tambours autour d'un arbre vertical, sur un point central où se trouve installé le

moteur, dont on renvoie la force, à l'aide de longues chaînes, jusqu'à l'orifice de plusieurs puits d'extraction (n° 748).

Si l'on écarte la considération de la double courbure de cette ligne, en la projetant sur un plan perpendiculaire à l'axe, on

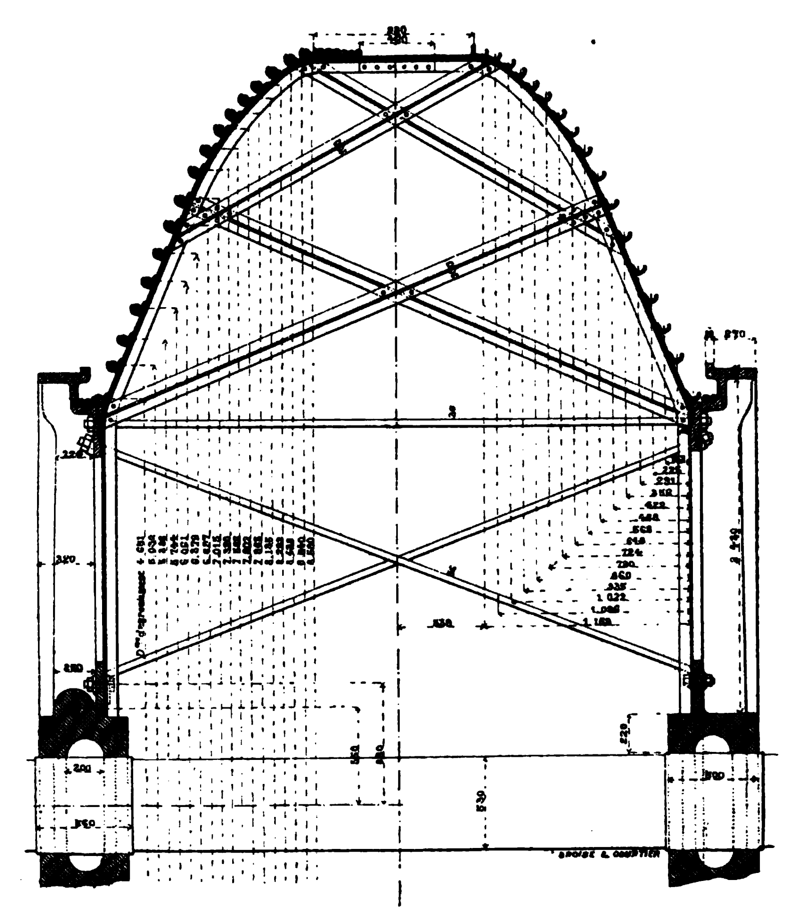


Fig. 508. Tambour spiraloïde.

obtient une spirale d'Archimède. Cette abstraction devient une réalité, quand on substitue au câble rond un câble plat, que l'on enroule sur lui-même. C'est le système des bobines (fig. 487), (n° 756). La théorie est la même pour ces deux appareils, et fera l'objet du paragraphe 5.

776 — Après ces trois variantes fondées sur une réglementation rationnelle du bras de levier, se présente la solution inverse, qui conserve un rayon constant avec un tambour cylindrique, et agit sur l'intensité variable du poids. Ce sera naturellement en le combinant avec des poids accessoires, qui présentent une variation complémentaire. Mais ce principe peut s'appliquer de deux manières essentielles, suivant que l'on emploie des contrepoids solides ou des chaînes de contrepoids.

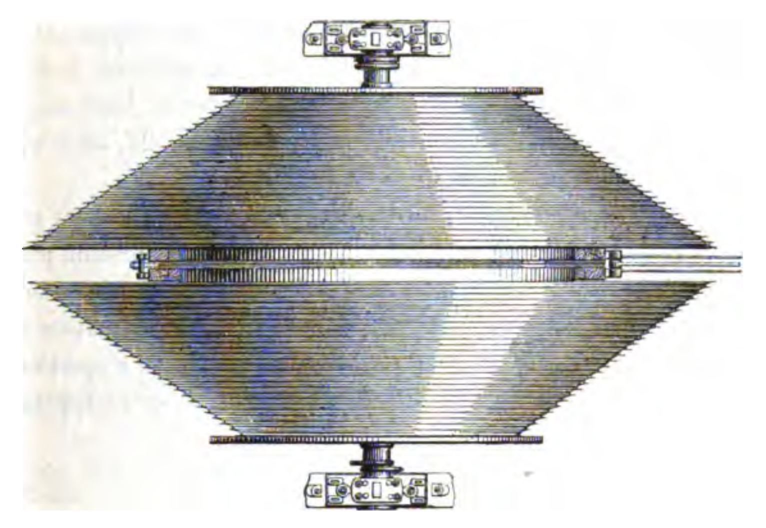


Fig. 509. Tambour conique.

Une première solution se trouve dans le système anglais des *chariots de contrepoids* (¹). Une chaînette passée sur le treuil (fig. 520) se déroule en même temps que le câble, et porte, à son extrémité, un wagonnet de contrepoids, qui descend par une voie courbe, tracée dans un plan vertical. Là où cette dernière présente une pente très raide, le chariot pèsera de tout son poids sur la chaîne, tandis qu'au contraire, une fois parvenu sur une partie presque horizontale, il ne la sollicitera plus que par une composante très atténuée. On conçoit donc la possibilité d'adopter un tracé telle-

(¹) *Bull. min.*, 1re, VII, 63. — *Transact. NEI*, XX. — *Berg- und Hüttenmännisches Jahrbuch*, XXXI, Julius von Hauer.

ment déterminé, qu'il établisse à chaque instant une compensation exacte. Sa recherche fera l'objet du paragraphe 6.

Une seconde solution est fondée sur l'emploi d'un *contrepoids vertical* (fig. 519). Ce corps se meut dans un bure, comme il sera expliqué au n° 804, en fournissant un travail moteur tant que le câble porteur, plus long que celui de la cage vide, occasionnera dans la machine une résistance à vaincre. Le contrepoids remonte quand ce dernier câble est, après la rencontre, devenu le plus long, en créant, au contraire, un supplément de force motrice.

On a introduit, enfin, le système des *chaînes de contrepoids* (1), que l'on met en liberté en quantité variable, de manière à compenser les effets de l'enroulement des câbles porteurs. Leur emploi comporte, du reste, trois dispositifs différents (fig. 521, 522, 523) que nous étudierons dans le paragraphe 7.

Mais, à tous les principes précédents, il s'en ajoute un autre plus radical, qui résout la difficulté, pour ainsi dire, par la question préalable. Au lieu, en effet, de se préoccuper, comme ci-dessus, de remédier aux inconvénients de l'enroulement, il suffit de supprimer cet enroulement lui-même. On y arrive au moyen du *câble d'équilibre*, par l'étude duquel nous commencerons cette série de recherches.

§ 2

CABLE D'ÉQUILIBRE

777 — *Câble sans fin.* — La simplicité de cette solution (2) l'a fait apercevoir de bonne heure, mais sa réalisation présentait des difficultés d'exécution qui en ont retardé l'application. Employée d'abord par M. Devillaine, à Montrambert, pour la descente des remblais (3), elle a été appliquée par M. Kœpe à l'extraction du

(1) *Annales*, 3e XI, 56, Combes. — *Bull. min.*, 2e, IV, 808, Dombre; VI, 417, John Daglish.

(2) *Bull. min.*, 2e, VII, 752, Chansselle et de Loriol. — *CRM.* 1878, 253, Considère; 1879, 70, Considère; 166, Rossigneux. — *Bull. Soc. d'enc.*, 3e, IX, 225, Haton de la Goupillière. — *Zeitschrift BHS*, XXVI, 381; XXIX. 260; XXXI, 173, Baumann.

(3) *Bull. min.*, 2e, VII, 752, Chansselle et de Loriol; X, Griot.

charbon dans le bassin de la Ruhr, sous deux formes distinctes, dont la première porte le nom de *câble sans fin* (1).

Au lieu d'un treuil d'enroulement, on n'a plus qu'une simple poulie de commande actionnée par la machine à vapeur, et sur laquelle passe, en embrassant environ les deux tiers de sa circonférence, un câble porteur (fig. 510). Celui-ci passe également sur les

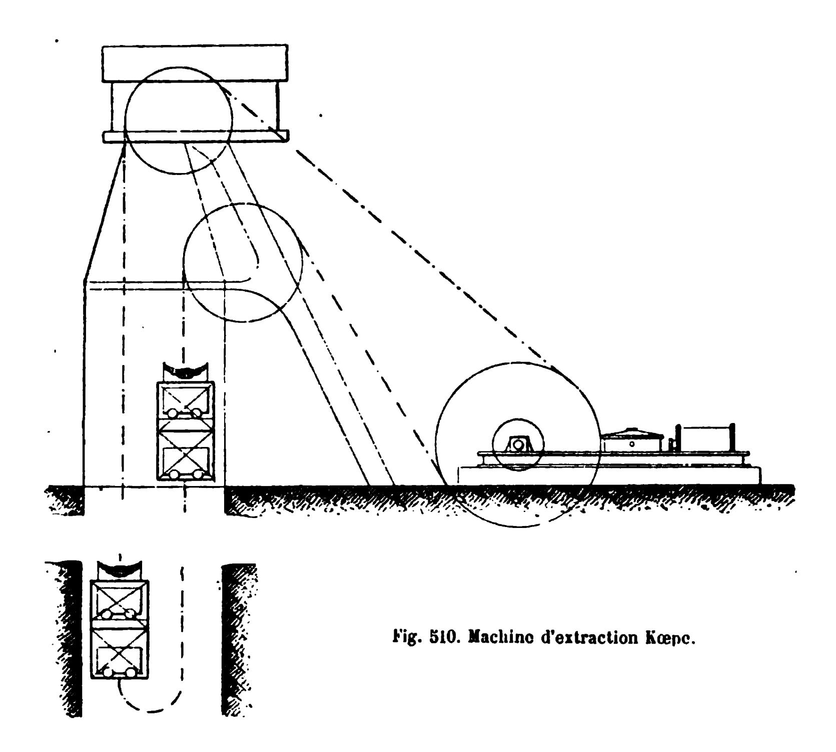


Fig. 510. Machine d'extraction Kœpe.

molettes placées à l'aplomb du puits, et ses deux brins y descendent pour supporter les cages. Sous le plancher de ces dernières, est attaché un contre-câble, dont la longueur est égale à la hauteur du puits, de manière à pouvoir encore unir les cages, quand elles se trouvent aux deux extrémités de leur course. L'ensemble du câble et du contre-câble constitue, comme on le voit, une ligne sans fin.

(1) Le câble sans fin a été employé aux puits Hannover, Westhausen, Oberhausen, ainsi que dans la Haute-Silésie. Le tambour à contre-câble d'équilibre (n° 778), au puits Hibernia, dans ceux de la Compagnie Zollverein (Westphalie), et dans le bassin de la Sarre, à Louisenthal, Friedrichthal, Kreuzgraben.

Ses divers éléments matériels se déplacent sur toute sa longueur; mais elle présente, dans son ensemble, une figure constante et qui, par conséquent, ne donnera lieu à aucun défaut d'équilibre, aux divers instants du mouvement.

La dépense totale de câble n'est pas plus grande que dans le système ordinaire. C'est environ le double de la hauteur du puits. De plus, une moitié seulement supporte toute la fatigue, à savoir le câble porteur. Le contre-câble ne fait que se porter lui-même. Il aura donc des chances meilleures de durée, et, par suite, on trouvera dans cette circonstance la source d'une certaine économie.

On gagnera également sous le rapport de l'activité de l'extraction. En effet, la prudence exige, en tout état de cause, qu'une certaine limite de vitesse ne soit pas dépassée pour l'ascension des cages, au moment de la plus grande rapidité de l'allure. La vitesse moyenne, étant naturellement inférieure au maximum, restera à une certaine distance de cette limite. Ici, au contraire, la vitesse est rigoureusement constante, puisqu'il n'y a plus rien de variable dans le système. C'est donc cette vitesse elle-même, et non plus un maximum supérieur à sa valeur moyenne, que l'on pourra sans inconvénient porter jusqu'à la limite de prudence. On pourra, d'après cela, effectuer un plus grand nombre de voyages dans un même temps.

On évite complètement, avec ce système, le danger très grave de l'envoi aux molettes. En effet, dans les conditions ordinaires, l'ascension ne cesse que quand l'intervention du mécanicien y met un terme. Une inattention de sa part peut donc déterminer un choc violent des cages contre les molettes, et amener la perte des hommes que l'on était en train de monter. Ici, au contraire, cette rencontre devient absolument impossible. En effet, dès que la cage supérieure arrive au jour, la seconde parvient au fond et repose sur les clichages. Son poids se trouvant dès lors annulé, la tension du câble diminue assez pour supprimer son adhérence avec la poulie motrice. Le moteur ne saurait donc contribuer à entraîner la cage pleine au-dessus de ce point.

Cette influence est même tellement nette que l'on se trouverait, sans une précaution spéciale, dans l'impossibilité d'effectuer les manœu-

vres des recettes, qui exigent que la cage supérieure soit enlevée d'une petite quantité au-dessus de son clichage. On obvie à cette difficulté par l'introduction d'un fort ressort dans l'attache du câble aux cages. Lorsque celle du fond repose sur ses clichages en perdant son poids, le ressort garde encore sa tendance à se contracter, et à tirer à lui le câble, en y maintenant une tension, et, par suite, une adhérence sur la poulie motrice, suffisantes pour que les manœuvres puissent s'effectuer.

En compensation de ces avantages, le système des câbles sans fin présente plusieurs inconvénients. C'est d'abord l'impossibilité de l'emploi des câbles diminués, qui sont une des ressources de l'avenir pour les grandes profondeurs (n° 720). Ici le câble ne saurait avoir une section décroissante, puisque ses deux extrémités porteuses fonctionnent dans des conditions identiques.

C'est aussi la suppression du coupage à la patte, opération que l'on tend de plus en plus à introduire dans une saine pratique (n° 730).

C'est encore l'impossibilité de l'épuisement par les bennes. En effet, les cages à eau ne sauraient descendre dans le puisard, puisque la course totale est déterminée et s'arrête au clichage de la recette inférieure.

Il devient également très difficile d'effectuer l'extraction à plusieurs étages exploités simultanément.

Mais, par-dessus tout, il faut signaler, comme le défaut le plus grave, l'importance plus que doublée des accidents. En effet, si le câble porteur vient à se rompre, les deux cages se trouvent à la fois précipitées au fond, tandis que dans le système ordinaire, la seconde reste suspendue sur son câble. De plus, la chute simultanée de tout le câble porteur et du contre-câble rend plus fatales encore les conséquences du sinistre, et le sauvetage plus difficile. Il faut alors une machine et un câble de secours.

778 — *Tambour à contre-câble d'équilibre.* — On a remédié aux principaux de ces inconvénients, en substituant au système précédent celui du *tambour à contre-câble d'équilibre.* Le câble n'est plus sans fin. Il a maintenant deux bouts, qui sont fixés à un

tambour ordinaire où ils s'enroulent en même sens, l'un des tours étant lâche au point de former une vaste boucle qui descend jusqu'au fond du puits. Si l'on fait tourner la machine, la partie située sur le treuil, à droite de cette boucle par exemple, perd quelques spires, qui deviennent verticales et s'ajoutent au brin descendant de la boucle. Mais la partie située à gauche gagne autant de circonférences, au détriment du brin montant de cette boucle. Celle-ci reste par conséquent constante de figure, seulement ses divers éléments matériels se déplacent suivant sa longueur. Si donc les deux cages sont fixées en deux points de cette boucle, l'une d'elles montera, tandis que l'autre descendra, sans que le câble cesse d'être par lui-même en équilibre. Il traverse les cages de part en part, et celles-ci en sont rendues solidaires par le serrage à vis de fortes tenailles (1).

On comprend, d'après cela, que la rupture du câble en un point n'entraînera que la chute de la cage correspondante, car l'autre restera suspendue sur le brin intact qui se trouve attaché au tambour supérieur.

De plus, on peut facilement extraire successivement à divers étages, dans le cours d'une même journée. Il suffit pour cela d'arrêter l'une des cages au jour, et de desserrer ses tenailles pour la rendre indépendante du câble. En faisant alors tourner le treuil d'une quantité suffisante, on amènera la seconde cage du fond jusqu'au nouvel accrochage que l'on veut maintenant desservir, pendant que le câble filera à travers la première cage restée immobile. Si, à ce moment, on la rattache au câble en serrant ses tenailles, l'extraction se fera dorénavant entre la nouvelle recette inférieure et la surface.

On trouve également, dans cette manœuvre, le moyen d'effectuer l'épuisement par les bennes. En effet, la seule question consiste pour cela à étendre la descente jusqu'au fond du puisard, et non pas seulement jusqu'aux clichages de la voie de fond. Or ce

(1) M. Baumann a indiqué un mode spécial d'assemblage de la cage au câble, qui peut être employé dans de telles conditions (*Revue industrielle*, 1881, 143. — *Engineering*. 6 août 1880, p. 118). Ce dernier se trouve pincé entre les quatre quarts indépendants d'un fourreau, engagés à l'intérieur d'une autre gaine légèrement tronc-conique, dont l'épaisseur est traversée par des vis destinées à comprimer le câble entre ces quatre mâchoires.

n'est, pour ainsi dire, qu'un changement d'étage à faible distance.

Enfin ce même artifice remédie à l'inconvénient de l'impossibilité du coupage à la patte. On n'aura plus besoin, en effet, de pratiquer cette opération, qui devient sans objet, si l'on a soin d'amarrer les cages successivement à divers points du câble, au moyen de fourrures d'approvisionnement accumulées sur les extrémités du treuil. On répartira ainsi sur des points variables les fatigues exceptionnelles qui sont, dans le mode ordinaire, concentrées sur la partie inférieure, appelée la patte du câble.

779 — Une question essentielle se présente à l'occasion du câble sans fin, pour savoir si l'adhérence du câble sur la poulie sera suffisante. On sait [1] que cette condition s'exprime par la relation :

$$\frac{T}{t} = e^{f\alpha},$$

si T désigne la tension la plus forte, c'est-à-dire celle du brin qui se présente pour l'enroulement, t la tension du brin qui abandonne la poulie, f le coefficient de frottement, α l'angle d'enroulement pour lequel le glissement serait sur le point de se produire. Il suffira donc que l'angle effectivement embrassé sur la poulie ait une valeur supérieure à α, pour que le glissement demeure impossible, et que l'adhérence ait lieu. On peut admettre pour la valeur du coefficient de frottement d'un câble de fil de fer [2], suivant la nature de la jante et de sa garniture :

Fonte	$f =$ 0,129
Chêne	0,158
Cuir.	0,163

Nous avons vu d'ailleurs (nº 727) que la tension T s'exprime par un multiple (dont le coefficient m varie entre 1000 et 1200, suivant

(1) Haton de la Goupillière (*Traité des mécanismes*, p. 416).
(2) Baumann (*Zeitschrift BHS*, XXXI, 182).

les inspirations de la prudence) du poids χ de l'unité de longueur du câble :

$$T = m\chi.$$

La tension t est la somme du poids d'une des moitiés du câble, à savoir χH, si H désigne la hauteur du puits, et du poids mort q de la cage et des wagons vides :

$$t = q + \chi H.$$

L'équation prend donc la forme :

$$e^{f\alpha} = \frac{m\chi}{q + \chi H},$$

et l'on en tire :

$$\alpha = \frac{\text{Log}\left(\frac{m\chi}{q + \chi H}\right)}{f \text{ Log } e}.$$

ou, en exprimant α en degrés :

$$\alpha' = \frac{180}{\pi \text{ Log } e} \quad \frac{\text{Log}\left(\frac{m\chi}{q + \chi H}\right)}{f} = 131,919 \quad \frac{\text{Log}\left(\frac{m\chi}{q + \chi H}\right)}{f}.$$

Si l'on suppose en particulier que la jante soit en fonte, il viendra, en substituant la valeur $f = 0,129$:

$$\alpha'' = 1022,628 \text{ Log}\left(\frac{m\chi}{q + \chi H}\right).$$

Pour nous faire une idée du résultat, reprenons l'exemple du numéro 775 :

$$H = 400, \qquad \chi = 6,$$

en supposant un poids mort de 2 tonnes :

$$q = 2000.$$

Il vient ainsi, pour $m = 1000$:

$$\alpha''' = 137{,}748 = 137°44'53''.$$

On voit qu'un enroulement d'une demi-circonférence serait déjà largement suffisant, et pratiquement on donne encore plus (n° 777), à l'aide de poulies de renvoi (fig. 562, p. 221).

§ 5

PROPRIÉTÉS GÉNÉRALES DES APPAREILS D'ÉQUILIBRE

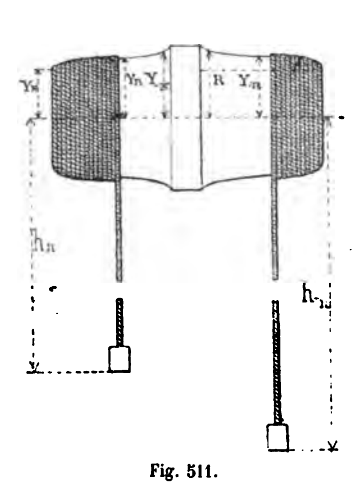
780 — Après la solution précédente, fondée sur la suppression de l'enroulement, nous passons aux appareils d'enroulement équilibré, dont le type rigoureux est le tambour spiraloïde (fig. 508). Je commencerai par établir un certain nombre de propriétés générales [1], qui appartiennent à tout tambour d'équilibre *quelle que soit la forme de son câble*, que celui-ci soit cylindrique, ou formé de mises cylindriques, logarithmique, conique, ou de telle forme que l'on voudrait imaginer d'une manière arbitraire, sans même qu'elle fût justifiée par aucune raison de pratique usuelle.

Un pareil tambour se compose de deux parties, qui sont symétriques par rapport à un plan médian mené perpendiculairement à son axe (fig. 511). Sur toutes les deux, s'enroulent des câbles qui pendent de deux côtés opposés, de manière qu'une rotation quelconque ait pour résultat d'allonger l'un d'eux en raccourcissant l'autre. Aux extrémités de la rotation, l'un des câbles se trouve entièrement rectiligne et l'autre complètement enroulé sur sa travée. Ces deux câbles, à partir de leur point d'attache sur le treuil jusqu'à leur autre extrémité, sont, bien entendu, identiques l'un

[1] Haton de la Goupillière (*Annales*, 8e, I, 566).

à l'autre, mais *nous laissons leur forme absolument arbitraire*, ainsi que je l'ai dit plus haut.

Il vient un moment où, à force de raccourcir l'un des câbles en allongeant l'autre, on les rend égaux. C'est l'*instant de la rencontre*. Il établit une symétrie, non pas entre les deux moitiés du mouvement d'un des câbles, mais dans l'ensemble du phénomène, quel que soit celui des deux câbles que l'on va, à partir de cet instant, envisagé dans l'état de repos, considérer comme montant, tandis que l'autre descendra. Nous prendrons, pour cette raison, cette situation comme point de départ, pour y rapporter toutes les autres. C'est donc à partir de la rencontre que nous compterons les révolutions, en désignant par n le nombre de tours, entier, fractionnaire ou incommensurable, et variant d'une manière continue. En attachant la pensée à celui des deux câbles qui est actuellement chargé de houille, et qui, par suite, monte au jour, nous compterons positivement les valeurs de n qui rapprochent sa cage de la recette extérieure, et négativement celles qui la placent au-dessous de la rencontre.


Fig. 511.

Pour mener la cage pleine, de la rencontre à la surface, il faut, d'après la symétrie, autant de tours de l'arbre que pour y conduire, par une rotation inverse, la cage vide, et, par suite, que pour descendre la cage pleine au fond, puisqu'elle s'y trouve en même temps que la cage vide arrive à l'orifice du puits. Donc *l'instant de la rencontre se trouve nécessairement au milieu de la révolution* [1]. D'après cela, si nous désignons par 2N le nombre total de tours (entier ou fractionnaire), n variera de $-$ N à $+$ N pendant cet intervalle, à savoir : de 0 à $+$ N pour conduire la cage pleine

[1] Mais non de la hauteur, comme nous le verrons plus loin.

de la rencontre au jour, et de 0 à $-N$ pour la descendre au fond.

Nous appellerons à chaque instant Y_n l'ordonnée du profil du tambour (fig. 511), c'est-à-dire le rayon d'enroulement du câble au bout de n tours. Les rayons des circonférences extrêmes du treuil seront, d'après cela, désignés par Y_N et Y_{-N}. On aura d'ailleurs :

$$Y_N > Y_{-N},$$

car c'est en arrivant au jour, par les valeurs positives de n, qu'on doit avoir les plus grands bras de levier, pour compenser, dans la valeur du moment constant, la diminution progressive du poids de la portion pendante du câble. Nous désignerons en outre par R le rayon du treuil à l'instant de la rencontre.

Nous marquerons par H la profondeur totale du puits ; h_n sera la portion *rectiligne* de câble qui se détache du tambour, perpendiculairement au rayon d'enroulement Y_n. On aura, d'après cela, en arrivant au jour :

$$(1) \qquad h_N = 0,$$

et au fond

$$(2) \qquad h_{-N} = H.$$

h_0, c'est-à-dire la *profondeur de la rencontre*, reste provisoirement inconnue, comme le rayon d'enroulement R qui lui correspond. Il est cependant facile de voir, dès à présent, que l'on a nécessairement :

$$h_0 > \frac{H}{2},$$

ou que *la rencontre se produit toujours au-dessous du milieu de la hauteur du puits*. En effet, il faut, à partir de la rencontre, le même nombre N de tours pour envoyer la cage au jour ou au fond. Mais ceux qui la conduisent à la surface s'effectuent avec des rayons de plus en plus grands, tandis que les révolutions qui la mène-

raient au fond s'exécuteraient avec des diamètres décroissants. La somme des circonférences déroulées depuis l'orifice jusqu'à la rencontre forme donc un total supérieur à celui qu'il reste à dérouler à partir de ce point, pour atteindre la recette inférieure.

Nous appellerons Q le poids utile, c'est-à-dire celui de la houille renfermée dans une cage, et q le poids mort de la cage avec ses wagonnets. L'enlevage sera d'après cela, pour le câble chargé, $Q+q$. Quant à la fatigue statique de l'axe du tambour, elle a pour valeur $Q+2q$ augmenté du poids total 2P des deux câbles, quelle qu'en soit à chaque instant la portion verticale ou enroulée.

Le moment dynamique dépend, au contraire, de cette variation. Il se réduit, pour l'instant de la rencontre, au moment QR du poids du combustible. En effet, les deux câbles étant alors parfaitement identiques comme longueur, comme forme et comme bras de levier, ils s'équilibrent mutuellement, ainsi que les poids morts q qu'ils supportent. L'objet essentiel du problème qui nous occupe étant d'ailleurs de réaliser, pour chaque instant, la constance absolue de la somme algébrique des moments des forces par rapport à l'axe du treuil, on voit que cette somme devra rester toujours égale à QR. Occupons-nous de poser cette équation fondamentale.

781 — Au $n^{ième}$ tour, la charge $Q+q$ se trouve suspendue à l'extrémité d'une longueur h_n de câble, dont je représenterai le poids par p_n. On a donc, de ce côté, le moment $(Q+q+p_n)\,Y_n$. La cage vide q se trouve, en même temps, dans une position désignée par la valeur $-n$ de sa propre rotation, et, par suite, suspendue à un câble de longueur h_{-n} et de poids p_{-n}. Son rayon d'attache ayant d'ailleurs actuellement la valeur Y_{-n}, cette partie fournit un moment négatif égal, sauf le signe, à $(q+p_{-n})\,Y_{-n}$. Il vient par conséquent pour l'ensemble :

$$(3) \qquad (Q+q+p_n)Y_n - (q+p_{-n})Y_{-n} = QR.$$

Nous pouvons immédiatement déduire de là une conséquence importante. Écrivons, en effet, cette équation pour l'instant symétrique du précédent. Les deux cages échangeant réciproquement

leurs situations dans le puits, le nombre de révolutions aura alors pour valeur — n, ce qui donne :

$$(Q + q + p_{-n}) Y_{-n} - (q + p_n) Y_n = QR.$$

L'ensemble de ces deux relations reproduit, comme on le voit, les mêmes termes avec des signes contraires, à l'exception de ceux qui renferment Q. Si donc on ajoute, il reste, en divisant par Q :

$$(4) \qquad Y_n + Y_{-n} = 2R.$$

On voit ainsi que *chaque rayon d'enroulement gagne perpétuellement ce que perd l'autre*. En d'autres termes, *la moyenne arithmétique des rayons d'enroulement simultanés reste invariable*. Il est naturel, d'après cela, que la valeur de cette moyenne soit le rayon à la rencontre, que nous appellerons pour cette raison le *rayon moyen*, et qui se trouve ainsi déterminé par la relation :

$$(5) \qquad Y_N + Y_{-N} = 2R.$$

782 — Supposons que la partie rectiligne du câble chargé soit actuellement celle qui occuperait la longueur AM sur le tambour, si l'on y complétait son enroulement (fig. 512). Il aura pour bras de levier actuel Mm. Le câble de la cage vide se trouve, au contraire, enroulé en même temps sur une longueur égale A'M' (¹) :

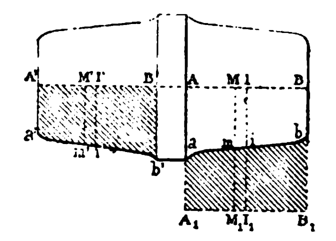


Fig. 512.

$$AM = A'M',$$

(¹) En effet, le nombre des révolutions est le même, puisqu'elles sont simultanées. De plus nous supposons, bien entendu, que quelle que soit l'épaisseur du câble, dont la loi reste quelconque, les spires refouillées dans la masse du tambour pour l'y loger sont espacées d'une manière équidistante en projection sur l'axe.

et il a pour rayon d'enroulement $M'm'$. L'équation (4) prend donc la forme :

$$Mm + M'm' = \text{const.} = Aa + A'a'.$$

Portons en aA_1 et mM_1, en prolongement des ordonnées Aa et Mm, leurs ordonnées conjuguées $A'a'$ et $M'm'$. La dernière formule pourra s'écrire alors :

$$Mm + mM_1 = Aa + aA_1,$$

c'est-à-dire :

$$MM_1 = AA_1.$$

Il s'ensuit que le lieu géométrique des extrémités M_1 est la ligne droite A_1B_1 parallèle à l'axe du tambour. La figure $A_1M_1B_1$ *amb* est par suite identique et superposable à $A'M'B'$ *a'm'b'*, et l'on peut dire que *les deux contours* $AaBb$ *et* $A'a'B'b'$ *sont complémentaires, et forment par leur ensemble le rectangle* AA_1BB_1, *quand on les rabat l'un sur l'autre.*

Cette circonstance montre notamment que *le profil du tambour d'équilibre présente nécessairement un point d'inflexion i.* En effet, si la courbe $a'm'$ tourne sa concavité vers l'axe $A'M'$ en partant de l'extrémité A', il faut, pour la symétrie des travées par rapport au milieu du tambour total, que l'axe *bi* présente de même sa concavité à l'axe BI en s'éloignant de B. Mais alors *bi* tourne par cela seul sa convexité à la droite B_1I_1. D'ailleurs, la figure $B'I'b'i'$ étant identique à B_1I_1bi, cela montre que $b'i'$ est convexe vers $B'I'$. Ainsi donc le profil $a'i'b'$, d'abord concave en a', finit par être convexe en b'. Il a dû, par conséquent, subir dans l'intervalle une inflexion.

783 — La relation (4) fournit encore une conséquence importante. On obtient, en la multipliant par la vitesse angulaire ω de la rotation :

$$Y_n\omega + Y_{-n}\omega = 2R\omega,$$

c'est-à-dire, si l'on désigne par v_n et v_{-n} les vitesses des cages dans les positions considérées :

$$v_n + v_{-n} = 2R\omega.$$

On voit d'après cela que *ce qu'une cage gagne en vitesse à chaque instant, l'autre le perd exactement;* ou encore que *la moyenne arithmétique des vitesses simultanées des deux cages reste constante et égale à la vitesse à la rencontre.*

Ces vitesses ont d'ailleurs pour expressions algébriques $-\frac{dh_n}{dt}$ et $\frac{dh_{-n}}{dt}$, car la cage pleine se dirige vers le jour, en diminuant sa distance h_n, tandis que l'autre descend, par allongement de son câble h_{-n}. Il vient donc, en remplaçant également ω en fonction de l'angle de rotation $2n\pi$:

$$\frac{dh_{-n}}{dt} - \frac{dh_n}{dt} = 2R\frac{d(2n\pi)}{dt},$$

et, en intégrant :

$$h_{-n} - h_n = 4n\pi R + \text{const.}$$

Remarquons d'ailleurs que la cage vide se trouve au-dessous de la rencontre, à la distance h_{-n} du jour, tandis que la cage pleine est supposée au-dessus, dans la position h_n. La différence $h_{-n} - h_n$ représente donc la distance actuelle des cages. Comme, en outre, cette distance s'annule à la rencontre en même temps que n, on voit que la constante d'intégration est nulle, et que l'équation se réduit à :

$$(6) \qquad h_{-n} - h_n = 4n\pi R.$$

D'où ce théorème : *la distance des cages varie proportionnellement à l'angle décrit par l'arbre de la machine.*

784 — On aura en particulier aux extrémités, pour $n = N$:

$$h_{-N} - h_N = 4N\pi R,$$

ou, d'après (1) et (2) :

$$H = 4N\pi R.$$

On tire de là :

$$N = \frac{H}{4\pi R}, \tag{7}$$

ce qui donne pour le nombre total de tours $2N$:

$$2N = \frac{H}{2\pi R}.$$

Ainsi *le nombre de tours du tambour spiraloïde est celui qui serait nécessaire pour enrouler la totalité du câble sur un treuil* CYLINDRIQUE, *qui serait construit avec le rayon moyen.*

Telles sont les propriétés, remarquables par leur simplicité, que présente tout tambour d'équilibre, *quelle que soit la constitution de son câble.*

§ 4

TAMBOURS SPIRALOÏDES

785 — La plupart du temps, on construit ces appareils par approximation, et cependant il est possible d'apporter à cette détermination une complète rigueur. Déjà Gerstner a donné le profil relatif à l'emploi d'un câble de section uniforme [1], et M. Dwelshauvers-Dery a repris cette question par une autre voie [2].

[1] Gerstner, *Handbuch der Mechanik.*
[2] Dwelshauvers-Dery (*Rev. univ. d. m. et u.*, 1re, XXXI. 45).

M. Jules Havrez a traité numériquement le même problème, pour un câble composé de mises cylindriques successives (¹). J'ai moi-même résolu la question pour les câbles rigoureux d'égale résistance (²), dont le profil est, comme nous l'avons vu (n° 721), une logarithmique; mais la complication des calculs m'empêche de les reproduire ici. Je me contenterai de déduire des théorèmes généraux que je viens d'établir, la solution relative au câble cylindrique.

Reprenons, à cet effet, l'équation d'équilibre (3), en y remplaçant Y_{-n} par sa valeur $2R - Y_n$ déduite de la relation (4). Il viendra :

$$(Q + q + p_n) Y_n - (q + p_{-n})(2R - Y_n) = QR,$$

ou, en réduisant :

$$p_n Y_n + p_{-n}(Y_n - 2R) + (Q + 2q)(Y_n - R) = 0.$$

Changeons maintenant de coordonnées, en transportant l'axe des abscisses, de l'axe de rotation à la surface du cylindre moyen. Nous prendrons en même temps pour unité le rayon de ce cylindre. On aura, dès lors, pour la nouvelle ordonnée :

$$y = \frac{Y_n - R}{R}, \qquad Y_n = R(y + 1),$$

et l'équation deviendra, en la divisant par R :

$$p_n(y + 1) + p_{-n}(y - 1) + (Q + 2q) y = 0.$$

Le poids p est évidemment proportionnel à la hauteur du câble cylindrique, de sorte que l'on peut écrire, avec une constante C :

$$p_n = Ch_n,$$
$$p_{-n} = Ch_{-n} = C(h_n + 4n\pi R).$$

(¹) Havrez (*Rev. univ. d. m. et u.*, 1ʳᵉ, XXXIII, 125).
(²) Haton de la Goupillière (*Annales*, 8ᵉ, I, 566).

Il vient, par cette substitution :

$$Ch_n(y+1) + C(h_n+4n\pi R)(y-1) + (Q+2q)y = 0,$$

ou, en divisant par $2Cy$ et supprimant l'indice de h_n, devenu inutile :

$$h + 2n\pi R\frac{y-1}{y} + \frac{Q+2q}{2C} = 0.$$

Nous ferons, par la différentiation, disparaître le terme constant :

$$dh + 2\pi R\left(\frac{y-1}{y}dn + n\frac{dy}{y^2}\right) = 0.$$

Remarquons, du reste, que dh représente, en valeur absolue, le raccourcissement du câble. Il est donc égal, sauf le signe, à l'arc enroulé qui a pour rayon Y, ou R $(y+1)$, et pour angle au centre $d(2n\pi)$, ce qui donne :

$$dh = -2\pi R(y+1)dn.$$

Nous aurons, d'après cela, en divisant par $2\pi R$, ce qui achève de faire disparaître les constantes :

$$\frac{y-1}{y}dn + n\frac{dy}{y^2} - (y+1)dn = 0,$$

ou, en séparant les variables :

$$\frac{dn}{n} = \frac{dy}{y(y^2+1)}.$$

Telle est l'équation différentielle du profil du treuil spiraloïde.

786 — Si nous la décomposons de la manière suivante :

$$\frac{dn}{n} = \frac{dy}{y} - \frac{ydy}{y^2+1},$$

il viendra, en intégrant avec des logarithmes népériens :

$$\text{Log}\, n = \text{Log}\, y - \frac{1}{2}\,\text{Log}\,(y^2+1) + \text{Log}\, A,$$

c'est-à-dire :

$$n = A\,\frac{y}{\sqrt{y^2+1}},$$

ou, en revenant aux anciennes variables :

$$n = \frac{A}{\sqrt{1+\left(\frac{R}{Y-R}\right)^2}}.$$

La constante d'intégration A se détermine à l'aide du rayon minimum, de manière que l'on ait à la fois :

$$n = -N, \qquad Y = Y_{-N},$$

ce qui fournit l'équation définitive :

$$n = N\sqrt{\frac{1+\left(\frac{R}{Y_{-N}-R}\right)^2}{1+\left(\frac{R}{Y-R}\right)^2}},$$

représentant une courbe du quatrième degré.

Cette relation renferme trois paramètres Y_{-N}, R et N. La valeur de Y_{-N} sera prise arbitrairement, en se limitant seulement par les conditions relatives à la raideur du câble (n° 727, 728, 754). On en

déduira, en second lieu, R, en exprimant l'égalité des moments pour l'instant initial et celui de la rencontre, ce qui donne :

$$(Q + q + \chi H) Y_{-x} = QR,$$

si nous continuons à désigner par χ le poids du mètre courant de câble. Quant aux quantités Q, q, χ, H, elles sont données directement. Enfin, X sera fourni par la formule (7).

787 — Les tambours spiraloïdes se sont beaucoup répandus depuis quelque temps. L'amélioration qu'ils apportent à l'équilibre, en substituant une solution rigoureuse à l'approximation que l'on obtient avec les bobines ou les tambours coniques, procure au mécanicien plus de facilité pour ses manœuvres. Il peut alors commencer son ralentissement à un instant plus rapproché des extrémités de la course. Le grand rayon de ces organes est de nature à mieux ménager les câbles d'acier. Il permet également d'accélérer la vitesse dans le puits, tout en gardant une allure modérée pour le piston.

En revanche, on peut leur reprocher le danger de la sortie du câble hors des spires que l'on a soin de lui ménager sur la surface du tambour. Les énormes proportions de quelques-uns de ces appareils les rendent lourds et encombrants (1). Ils masquent une partie de la recette aux regards du mécanicien. La distance du treuil au puits doit être encore augmentée, pour diminuer l'obliquité qui tendrait à faire sortir le câble des gorges (2). Enfin la grande précision de la solution, à défaut de laquelle l'appareil perd tous ses avantages en gardant ses inconvénients, le condamne à être mis hors de service, pour la moindre modification apportée au puits ou à l'enle-

(1) Au puits Hugo (Westphalie), les tambours pèsent 64 tonnes, dont 48 de fer et 16 de fonte. Au siège Marie-Colard (Seraing), les diamètres sont de 5 et de 10 mètres. M. Habets cite, pour le bassin de la Ruhr, 21 exemples pour lesquels le petit diamètre varie de 3m,60 à 5m,79; le grand, de 8m,47 à 10m,00; la largeur, de 1m,47 à 2m,65; la profondeur, de 366 à 550 mètres. Au puits Adalbert (Przibram), de 1020 mètres de hauteur, on a renoncé à l'établissement d'un tambour spiraloïde, qui eût nécessité un diamètre de 13 mètres.

(2) Elle est de 50 mètres à Seraing.

vage, tandis que la solution approximative des bobines, que nous allons exposer, présente beaucoup plus d'élasticité.

§ 5

BOBINES

788 — *Propriétés géométriques.* — La théorie des bobines a été traitée pour la première fois par Combes [1]. M. Dwelshauvers-Dery a, depuis lors, envisagé le problème pour les câbles plats de largeur diminuée et d'épaisseur constante [2]; et M. l'ingénieur en chef des mines Worms de Romilly a considéré de même la variation de l'épaisseur [3]. M. Devillez avait déjà, du reste, étudié l'enroulement des câbles à section décroissante [4]. Ces calculs extrêmement compliqués ne sauraient trouver place ici, et nous nous bornerons au cas du câble de section constante [5].

Je ferai remarquer dès à présent que les bobines ne constituant, comme il a été expliqué, qu'une solution approximative du problème de l'équilibre, au lieu de présenter la rigueur de celles qui précèdent, nous nous trouvons autorisés par là, dans une certaine mesure, à simplifier cette théorie, en y faisant abstraction des quantités négligeables qui n'affecteraient pas l'ordre des décimales nécessaires pour la pratique la plus exigeante.

Le câble ayant une épaisseur uniforme *e*, dessine une spirale d'Archimède, qui a pour équation en coordonnées polaires :

$$\rho = R + \frac{e}{2\pi}\,\theta,$$

en comptant l'azimut θ à partir de l'instant de la rencontre, pour

(1) Combes, *Traité d'exploitation des mines*, III, 182.

(2) *Rev. univ. d. m. et u.*, 1re, XXX, 345; XXXVI, 1.

(3) *Annales*, 7e, V, 181.

(4) *Bulletin du musée de l'industrie*, 1851, tome II, page 375.

(5) La forme simplifiée que je donne ici à cette théorie est celle que j'ai déjà présentée dans mon *Traité des mécanismes*, p. 275.

lequel la valeur du rayon vecteur est désignée par R. L'arc élémentaire de cette courbe :

$$ds = \rho d\theta \sqrt{1 + \left(\frac{\frac{d\rho}{d\theta}}{\rho}\right)^2},$$

peut prendre, par approximation, la forme plus simple :

$$ds = \rho d\theta.$$

En effet, cette transformation revient à négliger devant l'unité, sous le radical, le terme :

$$\left(\frac{\frac{d\rho}{d\theta}}{\rho}\right)^2 = \left(\frac{e}{2\pi\rho}\right)^2.$$

Or, l'épaisseur e du câble est toujours une fraction minime de la circonférence enroulée $2\pi\rho$, et, par suite, le carré de leur rapport est négligeable (1).

Il vient dès lors, en substituant pour ρ sa valeur :

$$ds = \text{R}d\theta + \frac{e}{2\pi}\theta d\theta, \tag{8}$$

et, en intégrant de manière que s s'annule avec θ :

$$s = \text{R}\theta + \frac{e}{4\pi}\theta^2.$$

(1) Si, par exemple, avec un câble végétal, on prend pour épaisseur $e = 0^m,03$ et pour rayon minimum $\rho = 1^m,00$, on a déjà :

$$\left(\frac{\frac{d\rho}{d\theta}}{\rho}\right)^2 = 0{,}000022,$$

valeur qui diminuerait beaucoup encore, avec les faibles épaisseurs et les grands rayons d'enroulement des câbles d'acier.

Nous rendrons cette expression plus commode en y remplaçant θ en fonction du nombre n de tours :

$$\theta = 2n\pi,$$

d'où :

$$(9) \qquad s = 2n\pi R + n^2\pi e.$$

Telle est la valeur de l'arc enroulé à partir de la rencontre, ou, si l'on veut, de la hauteur de la cage chargée au-dessus de ce niveau.

La seconde bobine dessine une spirale égale, mais de sens contraire, sur laquelle le rayon vecteur décroît d'une épaisseur de câble, en même temps qu'il augmente d'une quantité égale sur la première. L'arc s' qui s'en déroule, pendant que s s'enroule sur la première bobine, s'obtiendra donc à l'aide d'un calcul analogue, dans lequel le terme en e serait seulement changé de signe :

$$s' = 2n\pi R - n^2\pi e.$$

Tel est l'arc déroulé de la seconde bobine à partir de la rencontre, ou l'abaissement de la cage vide au-dessous de ce point.

789 — On déduit de ces deux formules :

$$(10) \qquad \left\{ \begin{array}{l} s - s' = 2n^2\pi e, \\ s + s' = 4n\pi R. \end{array} \right.$$

Cette dernière quantité $s + s'$ marque continuellement, d'après ce qui précède, la distance verticale des cages. On aura donc au dernier instant, pour lequel cette distance devient égale à la pro fondeur du puits :

$$H = 4N\pi R,$$

d'où

$$(11) \qquad N = \frac{H}{4\pi R}.$$

On retrouve ainsi la formule (7), par la compensation de deux approximations successives : l'une qui consisterait à appliquer à cet organe d'équilibre *approximatif* les propriétés du § 3, établies pour les appareils d'équilibre *rigoureux*, et la seconde résultant de l'erreur que nous avons faite volontairement, en supprimant un terme sous le radical.

Cette relation permet de déterminer la profondeur de la rencontre, c'est-à-dire la longueur H_0 de câble qui s'enroule en N tours, pour remonter la cage de ce niveau jusqu'au jour. On a, en effet, en substituant cette valeur dans la formule (9) :

$$H_0 = 2N\pi R + N^2\pi e,$$

ou :

$$H_0 = \frac{H}{2} + \frac{H^2 e}{16\pi R^2}. \qquad (12)$$

La rencontre a donc lieu, comme nous le savons d'une manière générale (n° 780), au-dessous du milieu de la hauteur du puits. La profondeur en contre-bas de ce point a pour valeur :

$$\frac{1}{16\pi}\frac{H^2 e}{R^2};$$

elle varie en raison de l'épaisseur, du carré de la hauteur, et en raison inverse du carré du rayon moyen d'enroulement.

790 — *Propriétés dynamiques.* — Pour passer maintenant à l'étude dynamique du phénomène, je commencerai par montrer que nous pouvons la réduire à l'emploi de la statique ; en d'autres termes, qu'il est permis de négliger, dans l'application du principe de d'Alembert qui exprime la loi de tout mouvement, la force d'inertie devant les forces physiquement existantes, c'est-à-dire le poids. Ceci doit s'entendre, bien entendu, de la *période de rotation uniforme* de l'arbre des bobines, à l'exclusion des phases extrêmes, et relativement courtes, de mise en train et de ralentissement, pen-

dant lesquelles, au contraire, la force d'inertie acquiert une grande influence, mais qui sont hors de la question actuelle.

La force d'inertie, par unité de masse, ayant pour valeur $\frac{d^2s}{dt^2}$, nous déduirons de la relation (8) :

$$\frac{ds}{dt} = \mathrm{R}\,\frac{d\theta}{dt} + \frac{e}{2\pi}\,\theta\,\frac{d\theta}{dt},$$

$$= \omega\left(\mathrm{R} + \frac{e}{2\pi}\,\theta\right),$$

si ω désigne la vitesse angulaire constante; et, en différentiant de nouveau par rapport au temps :

$$\frac{d^2s}{dt^2} = \frac{\omega e}{2\pi}\,\frac{d\theta}{dt} = \frac{\omega^2 e}{2\pi}.$$

Si, par exemple, nous supposons une vitesse de k tours par *minute*,

$$\omega = \frac{2k\pi}{60} = \frac{k\pi}{30},$$

il vient :

$$\frac{d^2s}{dt^2} = \frac{\pi k^2 e}{1800}.$$

Le rapport de la force d'inertie au poids de la même masse sera donc :

$$\frac{\frac{d^2s}{dt^2}}{g} = \frac{\pi}{1800.g}\,k^2e = 0{,}0001666.k^2e.$$

Comme e est une très faible fraction du mètre, auquel est rapportée l'évaluation de g, on voit que ce rapport restera très faible, malgré la présence du facteur k^2, car l'allure des machines d'extraction doit rester modérée (¹).

(¹) Si, par exemple, nous reprenons l'hypothèse précédente $e = 0^m{,}03$, en supposant

791 — Nous pouvons donc nous contenter de discuter la valeur statique du moment M des forces de pesanteur. Le poids $Q+q$ de la cage chargée s'ajoute à celui d'un câble de longueur H_0-s, puisque s marque la hauteur de cette cage au-dessus de la rencontre, située à la profondeur H_0. On aura donc la force $Q+q+\chi(h_0-s)$, agissant sur le treuil avec un rayon d'enroulement $R+ne$.

D'autre part, au rayon $R-ne$ se trouve appliqué le poids q de la cage vide, augmenté de celui $\chi(h_0+s')$ du second câble, puisque cette cage se trouve à la profondeur s' au-dessous de la rencontre. On a ainsi pour l'ensemble :

$$M=\left[Q+q+\chi(h_0-s)\right](R+ne)-\left[q+\chi(h_0+s')\right](R-ne),$$

ou, en ordonnant :

$$M=R\left[Q-\chi(s+s')\right]+ne\left\{Q+2q+\chi\left[2h_0-(s-s')\right]\right\},$$

et, en substituant les valeurs (10) :

$$M=QR-\chi R\,.\,4n\pi R+ne\left[Q+2q+\chi\left(H+\frac{H^2e}{8\pi R^2}-2n^2\pi e\right)\right].$$

Nous reconnaissons par là avec évidence que le moment M ne conserve pas à chaque instant, d'une manière constante, la valeur QR qu'il a au moment de la rencontre, lorsque les câbles et les poids morts s'équilibrent mutuellement. L'équilibre n'est donc qu'approximatif. Nous désignerons par μ l'écart :

$$\mu=M-QR,$$

une vitesse de 10 tours par minute, ce rapport prend pour valeur 0,0004998, c'est-à-dire un demi-millième. Avec les faibles épaisseurs des câbles d'acier, et leurs grands rayons d'enroulement, qui obligent à restreindre la vitesse angulaire pour conserver une allure modérée dans le puits, cette valeur s'abaisserait encore dans une mesure importante.

du moment réel M sur cette valeur moyenne QR. Il aura pour expression ordonnée par rapport à n :

$$\mu = \left[(Q + 2q + \chi H) e + \frac{\chi H^2 e^2}{8\pi R^2} - 4\pi\chi R^2\right] n - 2\pi\chi e^2 n^3.$$

Nous la mettrons provisoirement sous la forme plus simple :

(13) $$\mu = An - Bn^3,$$

en posant pour abréger :

(14) $$A = (Q + 2q + \chi H) e + \frac{\chi H^2 e^2}{8\pi R^2} - 4\pi\chi R^2,$$

(15) $$B = 2\pi\chi e^2.$$

792 — Pour faciliter la discussion de l'équation (13), nous construirons le tracé qu'elle représente, en portant en abscisses les

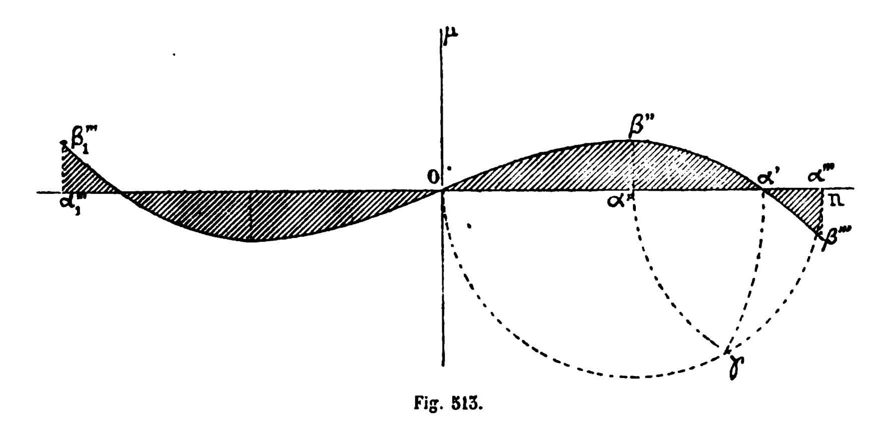


Fig. 513.

valeurs de n, et en ordonnées celles de l'écart μ (fig. 513). Cette courbe a son centre à l'origine O, puisque son équation ne renferme que des puissances impaires des variables. Elle a pour tangente à l'origine la droite représentée par l'ensemble des termes de moindre degré :

$$\mu = An.$$

La manière dont elle se trouve dirigée en ce point dépend du signe de A. Nous supposerons en premier lieu :

$$(16) \qquad A > 0.$$

Le tracé se relève alors au-dessus de l'axe des abscisses ; mais comme, pour $n = \infty$, on a $\mu = -\infty$, en raison du signe négatif du terme de degré le plus élevé, la courbe finit par repasser au-dessous. Elle coupe donc cet axe en un point α', que nous déterminerons en supposant dans l'équation (13) $\mu = 0$:

$$An' - Bn'^3 = 0.$$

$$(17) \qquad n' = \sqrt{\frac{A}{B}}.$$

valeur réelle, d'après l'hypothèse (16), puisque B est essentiellement positif (15).

Dans l'intervalle, cette ligne présente nécessairement un point maximum β'', dont l'abscisse n'' sera fournie par l'équation dérivée :

$$\frac{d\mu}{dn} = 0,$$

$$A - 3Bn''^2 = 0.$$

d'où l'on tire :

$$(18) \qquad n'' = \sqrt{\frac{A}{3B}} = \frac{n'}{\sqrt{3}}.$$

Il est facile de relier ce point au précédent. En effet, si de α'' comme centre, on décrit un demi-cercle de O en α''' ; que, de ce dernier point comme centre, avec la même ouverture de compas, on trace un arc de cercle $\alpha''\gamma$; et qu'enfin, de O comme centre, on rabatte par un arc de cercle, $O\gamma$ sur l'axe des abscisses, on arrivera précisément au point α', comme le montrerait, d'après la relation (18), le triangle rectangle $O\gamma\alpha'''$.

Quant à la valeur $\alpha''\beta''$ du maximum, elle sera fournie par l'équation (13) :

$$\begin{aligned}\mu'' &= An'' - Bn''^3 \\ &= n''(A - Bn''^2) \\ &= \sqrt{\frac{A}{3B}}\left(A - B\,.\,\frac{A}{3B}\right),\end{aligned}$$

et enfin :

$$(19) \qquad \mu'' = \frac{2}{3\sqrt{3}}\,A\sqrt{\frac{A}{B}}.$$

Évaluons encore l'ordonnée $\alpha'''\beta'''$ du point α''' obtenu par la construction précédente, et qui a pour abscisse $n''' = 2n''$:

$$\begin{aligned}\mu''' &= n'''(A - Bn'''^2) \\ &= 2n''(A - 4Bn''^2) \\ &= 2\sqrt{\frac{A}{3B}}\left(A - 4B\,.\,\frac{A}{3B}\right) \\ &= -\frac{2}{3\sqrt{3}}\,A\sqrt{\frac{A}{B}}.\end{aligned}$$

c'est-à-dire :

$$\mu''' = -\mu''.$$

793 — Cette circonstance est importante, car elle nous montre que la portion de la courbe indéfinie qu'il convient d'utiliser pour le phénomène, essentiellement limité, de l'extraction, en vue d'obtenir la meilleure régularisation possible, est justement celle qui s'étend de O en β''' (et, sur une longueur égale, de O en β_1''').

En effet, puisque l'écart absolu (19) de la courbe par rapport à l'axe des abscisses est inévitable, nous avons intérêt à aller au moins jusqu'en β''', car, par là, nous ne rencontrons pas d'écart plus grand. Donc, en restant dans les mêmes limites d'irrégularité, nous

augmentons le développement en abscisse, ce qui revient à dire, en d'autres termes, que, pour une même étendue en abscisse (c'est-à-dire un même nombre de tours, et, par suite, une même profondeur du puits) nous diminuons l'écart, et améliorons ainsi la régularisation. Nous avons également intérêt, d'un autre côté, à ne pas dépasser le point β''', car, par là, nous augmenterions gratuitement l'écart au delà de ce qui est inévitable, et la solution ainsi obtenue serait moins satisfaisante que la précédente.

Il nous faut donc exprimer cette condition, ce qui se fera en identifiant la valeur extrême n''' avec la valeur finale (11) :

$$n''' = N = \frac{H}{4\pi R}.$$

On en déduit :

$$n'' = \frac{n'''}{2} = \frac{H}{8\pi R},$$

et encore (18) :

$$n' = n''\sqrt{3} = \frac{\sqrt{3}}{8\pi}\,\frac{H}{R}. \tag{20}$$

Telles sont donc les abscisses des points essentiels du tracé.

Quant à la valeur absolue de l'écart, elle aura pour expression :

$$\begin{aligned}\mu'' = -\mu''' &= An'' - Bn''^3 \\ &= Bn''\left(\frac{A}{B} - n''^2\right) \\ &= Bn''(3n''^2 - n''^2) \\ &= 2Bn''^3 \\ &= 2\,.\,2\pi\chi e^2\,.\,\frac{H^3}{8^3\pi^3 R^3}.\end{aligned}$$

et, enfin :

$$\mu'' = \frac{\chi e^2 H^3}{2^7\pi^2 R^3}.$$

Son rapport à la valeur du moment moyen sera par conséquent :

$$(21) \qquad \frac{\mu''}{QR} = \frac{1}{2^7\pi} \cdot \frac{\chi e^2 H^3}{QR^4} = 0,00248668 . \frac{\chi e^2 H^3}{QR^4}.$$

Il varie en raison du poids du câble par mètre courant, du carré de son épaisseur, du cube de la profondeur, en raison inverse du poids utile et de la quatrième puissance du rayon à la rencontre.

On remarquera que cette valeur maximum μ'' de l'écart se trouve atteinte quatre fois pendant le mouvement, à savoir : deux fois en plus et deux autres en moins ; deux fois pour les extrémités et deux autres en des points intermédiaires. En même temps, la valeur moyenne se réalise pour trois instants différents, à savoir : celui de la rencontre, et deux autres en des points intermédiaires. La courbe serpente entre ces diverses valeurs.

794 — *Détermination des rayons.* — Après avoir ainsi exprimé les conditions relatives au meilleur fonctionnement possible, il s'agit de mettre le constructeur en état de les réaliser, en lui fournissant la valeur des divers rayons à donner à l'appareil. Commençons, à cet effet, par évaluer le rayon à la rencontre.

Sa valeur se trouve, dès à présent, déterminée implicitement dans ce qui précède, car nous possédons pour n' deux valeurs (17) et (20) qui doivent être nécessairement égales, d'où une relation qui renferme l'inconnue R. Nous obtenons ainsi :

$$\sqrt{\frac{A}{B}} = \frac{\sqrt{3}}{8\pi} \frac{H}{R},$$

c'est-à-dire :

$$(22) \qquad A - \frac{3H^2}{8^2\pi^2R^2} B = 0.$$

Rendons actuellement aux symboles A et B leurs valeurs (14) et (15). Il viendra par là :

$$(Q + 2q + \chi H)e + \frac{\chi e^2 H^2}{8\pi R^2} - 4\pi\chi R^2 - \frac{3H^2}{64\pi^2 R^2} . 2\pi\chi e^2 = 0.$$

Si nous multiplions tous les termes de cette équation par le facteur :

$$\frac{4\pi R^2}{\chi e^2 H^2},$$

elle deviendra :

$$(Q+2q+\chi H)\frac{4\pi R^2}{\chi e H^2}+\frac{1}{2}-\frac{16\pi^2 R^4}{e^2 H^2}-\frac{3}{8}=0,$$

ou, en réduisant et changeant tous les signes :

$$\left(\frac{4\pi R^2}{eH}\right)^2-\frac{Q+2q+\chi H}{\chi H}\left(\frac{4\pi R^2}{eH}\right)-\frac{1}{8}=0.$$

Prenons enfin pour inconnue auxiliaire :

(23) $$x=\frac{4\pi R^2}{eH},$$

et nous obtiendrons, pour l'équation résolvante, cette forme remarquablement simple après des calculs aussi compliqués :

(24) $$x^2-\frac{Q+2q+\chi H}{\chi H}x-\frac{1}{8}=0.$$

795 — La solution du problème s'effectuera, d'après cela, de la manière suivante. On formera la relation (24) au moyen des éléments nécessaires de la question, à savoir : la profondeur H, le poids par mètre χ du câble, le poids mort q et le poids utile Q. Cette équation du second degré ayant son dernier terme négatif, possède nécessairement des racines réelles et de signes contraires. La racine positive pourra seule être substituée dans l'équation (23), afin de fournir pour R une valeur réelle :

(25) $$R=\sqrt{\frac{eHx}{4\pi}},$$

que l'on prendra, bien entendu, avec le signe positif. On aura donc ainsi toujours une solution et une seule.

On en peut déduire le rayon initial Y_{-N}, que l'on composera arbitrairement d'un estomac métallique et d'une fourrure complémentaire de câble. Il vient en effet :

$$
\begin{aligned}
Y_{-N} &= R - Ne \\
&= R - \frac{H}{4\pi R} e \\
&= R\left(1 - \frac{eH}{4\pi R^2}\right),
\end{aligned}
$$

et enfin :

$$Y_{-N} = R\left(1 - \frac{1}{x}\right), \tag{26}$$

expression dans laquelle on substituera les valeurs trouvées pour R et x.

Quant au rayon final Y_{-N}, à l'aide duquel on forme la longueur des bras de la bobine, en lui adjoignant un certain excédent arbitraire, pour être assuré contre le déversement du câble, il ne diffère du précédent que par le signe de N et, par suite, dans le résultat (26), que par celui du terme en x :

$$Y_N = R\left(1 + \frac{1}{x}\right). \tag{27}$$

Telles sont les valeurs des deux rayons extrêmes [1].

[1] Si nous reprenons l'exemple déjà envisagé ci-dessus :

$$Q = 1600 \qquad q = 2400 \qquad \chi = 6 \qquad H = 400,$$

l'équation (24) donnera :

$$x = 3,707$$

et la relation (25) :

$$R = 1^m,831.$$

Les formules (26) et (27) deviennent alors :

$$Y_{-N} = 1^m,374 \qquad y_N = 2^m,389$$

796 — Pour compléter cette solution, il importe de rappeler que les considérations précédentes ne se rapportent qu'à une seule (16) des trois hypothèses que l'on peut faire sur le signe de A. Si l'on avait $A > 0$, la courbe prendrait la forme représentée par la figure 514; et, pour $A < 0$, celle de la figure 515. Ces deux types seraient évidemment beaucoup moins favorables à une bonne régularisation que le tracé 513, qui serpente longtemps aux environs de l'axe des abscisses, avant de s'en éloigner définitivement. Nous devons donc nous en tenir expressément au premier cas. Seulement il reste à savoir si les valeurs qui viennent d'être obtenues (n° 795) nous placent à coup sûr dans cette hypothèse, quelles que soient celles que l'on attribuerait aux paramètres. Or c'est ce dont on peut être assuré d'une manière générale, car ces valeurs satisfont à la relation (22), laquelle montre avec évidence que A est positif, puisque B l'est essentiellement (15).

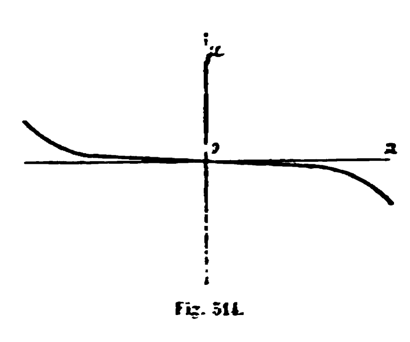


Fig. 514.

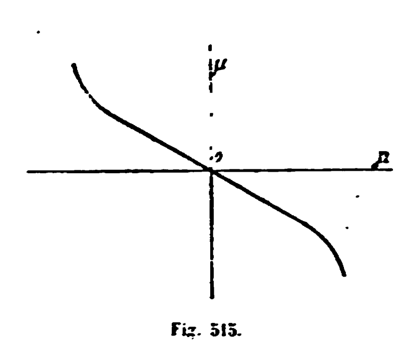


Fig. 515.

797 — *Discussion des résultats.* — Il n'est pas inutile de re-

ce qui indique $2^m,75$ et $4^m,78$ pour les diamètres extrêmes de l'enroulement. L'équation (11) fait connaître le nombre total de tours :

$$2N = 33,84.$$

Quant au coefficient caractéristique de la régularisation (21), il prend la valeur 0,0429. La variation du moment n'est donc plus que de 4 pour 100, tandis qu'elle était de 300 pour 100 avec le tambour cylindrique (N° 775). Elle est ainsi devenue environ 7000 fois moindre.

connaître comment varie le rayon initial Y_{-N}, en fonction de ses divers paramètres H, e, χ, Q, q [1].

L'équation (24) ne renfermant pas l'épaisseur du câble, x en est indépendant, et, par conséquent, elle se trouve en évidence dans la relation (25). Le rayon de la rencontre R varie donc comme la racine carrée de cette épaisseur, et il en est de même (26) du rayon initial Y_{-N}. Il sera par conséquent plus grand, toutes choses égales d'ailleurs, si l'on substitue au câble plat un câble rond avec une bobine étroite (n° 756, note), puisque le diamètre de ce dernier sera naturellement supérieur à celui des aussières partielles, qui constitue l'épaisseur du câble plat équivalent.

Nous tirons, en second lieu, des formules (25 et 26) :

$$Y_{-N} = \sqrt{\frac{eH}{4\pi}}\left(\sqrt{x} - \frac{1}{\sqrt{x}}\right).$$

On voit donc que le rayon initial croît en même temps que x. Or cette racine positive de l'équation (24) augmente elle-même avec l'unique coefficient de cette équation :

$$\frac{Q+q}{\chi H} + 1.$$

On reconnaît par là que le rayon initial augmente avec le poids mort et avec le poids utile, et qu'il varie en sens inverse de celui du câble par unité de longueur.

798 — Quant à l'influence de la profondeur H, elle est beaucoup plus complexe et plus dissimulée.

Pour la dégager, nous commencerons par écrire l'équation (24) de la manière suivante :

$$(28) \qquad H = \frac{Q+2q}{\chi} \, \frac{x}{x^2 - x - \frac{1}{8}}.$$

[1] Haton de la Goupillière (*Annales*, 8e, V, 162).

Nous avons, en second lieu (25) :

$$R = \sqrt{\frac{e(Q+2q)}{4\pi\chi}} \cdot \frac{x}{\sqrt{x^2 - x - \frac{1}{8}}}$$

et enfin (26) :

$$Y_{-N} = R\,\frac{x-1}{x},$$

c'est-à-dire :

$$(29) \qquad Y_{-N} = \sqrt{\frac{e(Q+2q)}{4\pi\chi}} \cdot \frac{x-1}{\sqrt{x^2 - x - \frac{1}{8}}}.$$

Avant tout, il faut que Y_{-N} soit réel, et, pour cela, que la valeur de x reste en dehors de l'intervalle compris entre les deux racines de l'équation :

$$(30) \qquad x^2 - x - \frac{1}{8} = 0,$$

lesquelles sont de signes contraires. Ce trinôme devenant par là positif, et H devant l'être de son côté (28), il faut qu'il en soit de même de x. Cette quantité ne peut donc être, en définitive, que supérieure à la racine positive de l'équation (31), à savoir :

$$x > \frac{1}{2}\left(1 + \sqrt{\frac{3}{2}}\right),$$

ou, en effectuant :

$$x > 1{,}1123\ldots$$

Si nous mettons actuellement l'expression (28) sous la forme :

$$H = \frac{Q+2q}{\chi} \; \frac{1}{x - 1 - \frac{1}{8x}}$$

il est facile de voir que H, d'abord nul lorsque x est infini, s'accroît à mesure que cette variable diminue. On a d'autre part :

$$\frac{dY_{-N}}{dx} = \sqrt{\frac{e(Q+2q)}{4\pi\chi}} \cdot \frac{x - \frac{5}{4}}{\left(x^2 - x - \frac{1}{8}\right)^{\frac{3}{2}}}.$$

Tant que x reste supérieur à 1,25 cette dérivée est positive, ce qui montre que Y_{-N} varie en même sens que x, et, par suite, en sens contraire de H. L'inverse se produit entre les valeurs 1,25 et 1,11.

Ainsi donc, si nous partons des valeurs :

$$x' = \infty, \qquad H' = 0, \qquad Y'_{-N} = \sqrt{\frac{e(Q+2q)}{4\pi\chi}},$$

le rayon initial décroît lorsque la hauteur augmente. Il atteint, pour $x = 1,25$ son minimum Y''_{-N} pour la profondeur H'' :

$$(31) \qquad x'' = 1,25, \qquad H'' = \frac{20}{5}\,\frac{Q+2q}{\chi}, \qquad Y''_{-N} = \sqrt{\frac{e(Q+2q)}{12\pi\chi}},$$

et, par cette variation, se réduit presque à moitié :

$$\frac{Y''_{-N}}{Y'_{-N}} = \frac{1}{\sqrt{3}} = 0,5773...$$

A partir de ce point, ce rayon se remet à croître en même temps que H, lorsque x continue à décroître de 1,25 à 1,11 ; et tous les deux deviennent infinis pour cette dernière limite :

$$x''' = 1,11, \qquad H''' = \infty, \qquad Y'''_{-N} = \infty.$$

Telle est la loi *théorique* de la variation cherchée.

799 — Mais la *pratique* ne peut naturellement réaliser qu'une partie de cette amplitude. Or nous avons vu (n° 725) que l'on détermine le poids χ de l'unité de longueur du câble destiné à supporter un enlevage $Q+q$, par la condition que la charge $Q+q+\chi H$ de sa section supérieure soit un multiple déterminé η, que la prudence suggère, de ce même poids par mètre courant :

$$(32) \qquad Q+q+\chi H = \chi\eta,$$

$$\chi = \frac{Q-q}{\eta - H}.$$

Il vient donc, pour la profondeur (31) qui correspond au minimum du rayon initial :

$$H'' = \frac{20}{3}\,\frac{Q+2q}{Q+q}\,(\eta - H).$$

Cherchons la condition pour que cette profondeur soit plus grande que la hauteur réelle du puits ; en d'autres termes, pour que ce minimum ne puisse être effectivement atteint. Il suffira pour cela de poser :

$$\frac{20}{3}\,\frac{Q+2q}{Q+q}\,(\eta - H) > H,$$

d'où l'on tire :

$$H < \frac{20(Q+2q)}{23Q+43q}\,\eta,$$

ou, sous une forme équivalente :

$$\frac{H}{\eta} < \frac{20}{23} + \frac{60}{989 + 529\,\frac{Q}{q}}.$$

Il est clair que le second membre, continuellement décroissant

avec le rapport $\frac{q}{Q}$, atteint, pour $\frac{q}{Q} = 0$, son minimum $\frac{20}{23}$. Il suffit donc, *à fortiori*, que l'on ait :

$$\frac{H}{\eta} < \frac{20}{23}.$$

Si, par exemple, on se plaçait exactement à cette limite :

$$\frac{H}{\eta} = \frac{20}{23},$$

il s'ensuivrait (32) :

$$Q + q = p(\eta - H) = \frac{3}{20} pH,$$

et le poids du câble pH serait déjà $\frac{20}{3}$, ou 6,67 fois celui de l'enlevage $Q + q$, ce qui est inadmissible.

Concluons donc en disant que, dans la réalité, le minimum Y''_{-N} ne saurait être atteint, et que le rayon initial décroît constamment quand la profondeur augmente.

Ajoutons que toute l'importance numérique de cette diminution s'épuise dès les faibles profondeurs, et qu'elle devient presque insensible lorsque l'on est encore loin de la limite H''. On a, en effet, l'échelle de valeurs suivantes :

$\frac{H}{H''}$	$\frac{Y_{-N}}{Y'_{-N}}$	x
0,00	1,00	∞
0,16	0,73	2
0,36	0,63	$\frac{3}{2}$
0,53	0,60	$\frac{11}{8}$
1,00	0,58	$\frac{5}{4}$

Ainsi, en arrivant à la moitié de la profondeur limite H'', on a déjà réalisé 97 pour 100 de la variation totale du rayon initial, qui peut être, à partir de ce point, considéré comme stationnaire. On en a même déjà obtenu à peu près les trois quarts, dès que l'on est arrivé au septième de cette profondeur limite.

§ 6

TAMBOURS CONIQUES

800 —*Tambours coniques.* — La théorie des tambours coniques se trouve implicitement renfermée dans celle des bobines. Si l'on envisage, en effet, la projection du câble sur un plan perpendiculaire à l'axe du cône (fig. 516), ce qui ne change pas les bras de levier, cette projection devient une spirale d'Archimède qui a pour pas :

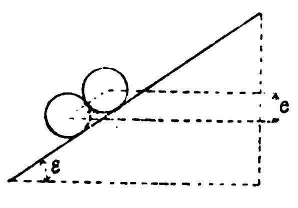


Fig. 516.

$$e = \delta \sin \varepsilon,$$

si l'on désigne par δ le diamètre du câble rond, et par ε l'angle générateur du cône. Il suffit donc de remplacer e par cette valeur dans les formules (24, 25, 26, 27), qui servent à résoudre le problème des bobines.

On remarquera même que cette circonstance augmentera d'une unité le nombre des données arbitraires de la question, en fournissant, par suite, plus de latitude encore pour arriver à une régularisation satisfaisante.

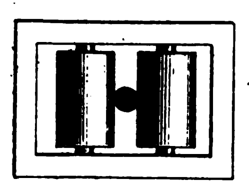


Fig. 517. Penderie.

Si les cônes sont disposés sur un axe vertical [1], on dirige l'enroulement du câble au moyen d'une *penderie* (fig. 517). On appelle

[1] Il en est de même pour les treuils cylindriques dont la longueur est de quelque importance.

ainsi un petit cadre formé de deux rouleaux, entre lesquels passe le câble. Ce cadre reçoit un mouvement de translation proportionnel à celui du câble, par l'intervention d'une cordelette enroulée sur un axe de diamètre moindre, que l'on monte sur l'arbre des tambours. A l'aide de cet artifice, la penderie présente toujours le câble au point précis où doit s'opérer, à chaque instant, l'enroulement.

801 — Les tambours coniques, ainsi du reste que les bobines, ont été également employés en dehors de l'extraction verticale, pour régulariser le mouvement sur les plans inclinés ([1]). Leur intervention y est toute naturelle, puisque le problème est, au fond, le même, si ce n'est que l'intensité de la pesantéur se trouve alors réduite dans le rapport du sinus de l'inclinaison.

Dans ce cas, il est bon que les deux câbles se déroulent par-dessus les cônes, et non de deux côtés différents de l'axe, comme avec l'extraction verticale. Il faut, pour cela, que les deux tambours tournent en sens contraires. On les établit donc sur des axes distincts (fig. 432, tome I), et on les met en communication, suivant leurs petites bases, à l'aide de roues d'engrenage égales.

802 — On rencontre même un dispositif encore plus éloigné que le précédent de celui de l'extraction verticale, et qui présente un aspect paradoxal. Le câble s'attache, en effet, à la grande base du cône et termine son enroulement sur la petite base, ce qui forme le contre-pied du système ordinaire. Mais cela ne s'emploie que pour des voies dont le profil est profondément creusé en courbe ([2]), afin de suivre la déclivité du sol. Le sinus de l'inclinaison peut en effet alors diminuer, vers le pied de l'ouvrage, au point que la force de tension, encore bien qu'elle ait reçu l'appoint du déroulement, se trouve cependant moindre qu'au début, ce qui exige, pour la régularisation, une augmentation du bras de levier.

([1]) Par exemple aux grands plans inclinés de Saint-Pierre d'Allevard (Isère) et de Saint-Georges d'Hurtières (Savoie).

([2]) Par exemple au grand plan incliné du Chailas, à l'extrémité du chemin de fer industriel de Saint-Pierre d'Allevard.

On remarquera que, dans ce cas spécial, les bobines ne sauraient se substituer aux tambours coniques, qui, seuls, permettent de commencer à volonté l'enroulement par la grande ou par la petite base.

803 — *Tambours cylindro-coniques.* — Si nous revenons à l'extraction verticale, nous rencontrons un système dérivé du précédent, pour lequel les deux troncs de cône, au lieu d'être opposés base à base, se trouvent réunis par une portion cylindrique (fig. 518) sur laquelle se prolonge l'enroulement, étagé jusqu'alors le long de la surface du cône.

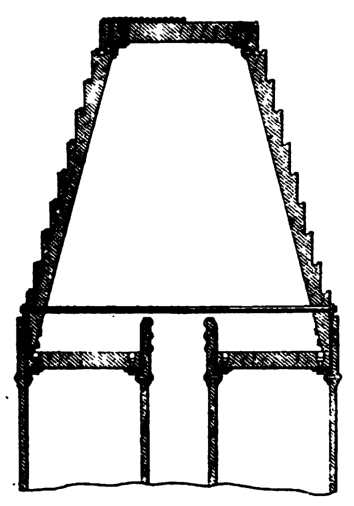


Fig. 518 Tambour cylindro-conique.

De cette manière, aux extrémités de la course, l'enroulement est conique pour l'un des câbles, et le déroulement cylindrique pour l'autre, ou réciproquement. A la rencontre, au contraire, l'enroulement et le déroulement sont cylindriques. Le moment total varie dès lors exactement en raison de l'angle décrit. Le tracé graphique qui représente cette variation est donc une ligne droite. Mais cette modification est presque sans effet dans cette région, car la courbe du système ordinaire (fig. 515) présente en O, pour cet instant, un point d'inflexion, aux environs duquel elle se confond sensiblement avec sa tangente.

804 — *Tambours coniques à poulie mobile.* — On a introduit récemment [1] un moyen de régularisation, dans lequel figurent à la fois un tambour conique et un contrepoids, ce qui en fait la transition naturelle entre les deux ordres d'appareils, agissant distinctement sur le bras de levier ou sur l'intensité de la force. Mais c'est

[1] Au puits Camphausen de Sarrebrück. (*Zeitschrift BHS*, XXXI, 6. — Haton de la Goupillière, *Bull. Soc. d'enc.*, 3e, XI, 231.)

ici le contrepoids additionnel, et non plus, comme tout à l'heure,

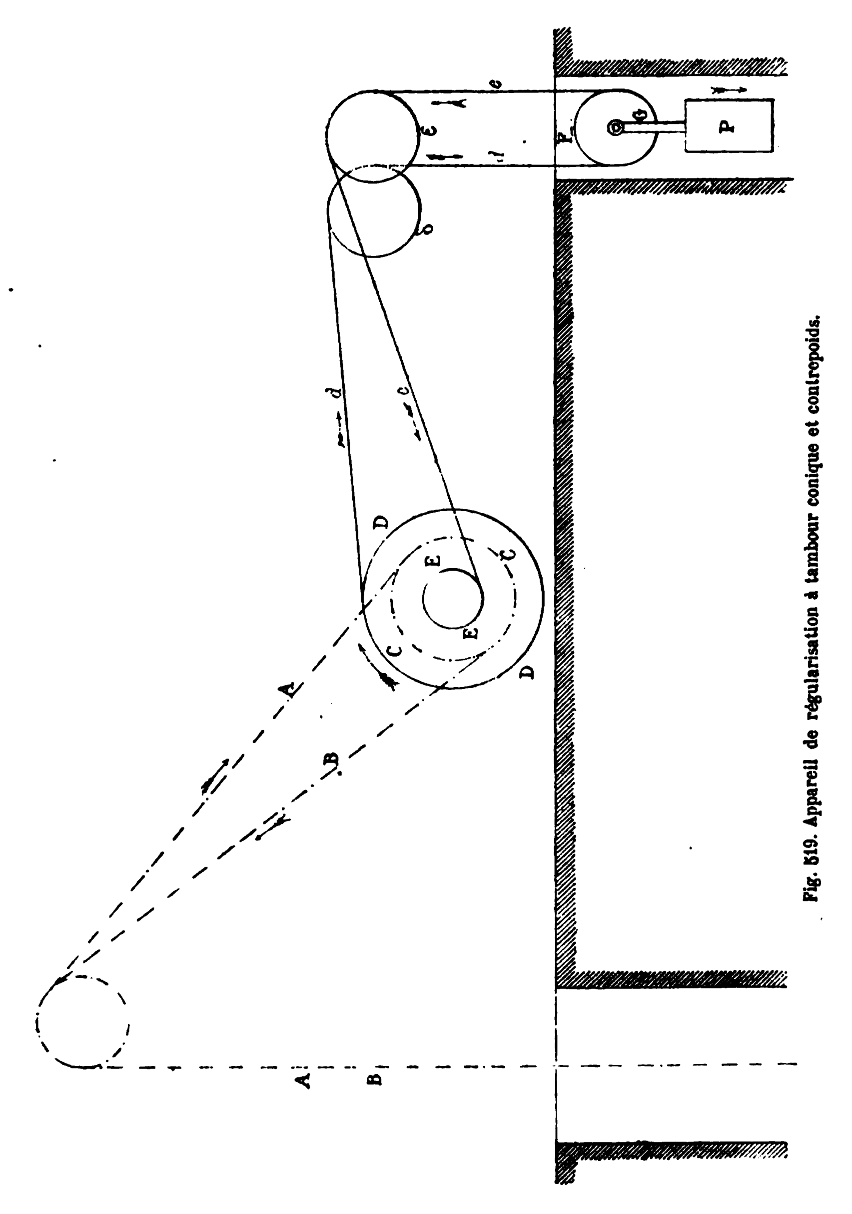


Fig. 519. Appareil de régularisation à tambour conique et contrepoids.

le câble d'extraction, qui agit sur des bras de levier variables; les câbles porteurs A et B (fig. 519) s'enroulent sur un tambour cylin-

drique E en deux sens différents; ils sont, par conséquent, de section ronde. Quant au système régulateur, il est constitué de la manière suivante.

Sur le prolongement de l'axe du treuil cylindrique, est monté un double tambour conique, dont les moitiés sont accolées par leur grande base D. La petite base du tronc de cône antérieur est figurée en E. Deux cordelettes *d* et *e*, *dont nous négligerons le poids* pour plus de simplicité, sont amarrées sur ce treuil. Au premier instant, qui est celui que représente la figure, elles s'en détachent, la première, par la grande base du tronc de cône postérieur, et la seconde, de la petite base de celui qui est en avant. La rotation produira donc le déroulement de la première *d* suivant des circonférences décroissantes à partir de D, et l'enroulement de la seconde *e* par des circonférences dont le rayon ira en augmentant à partir de E. Ces brins *d*, *e* passent sur deux molettes δ, ε, et pendent verticalement dans un faux puits. Ils y supportent, par leur boucle inférieure, une poulie mobile F, sa chape G, et le contrepoids P fixé à cette dernière.

Au commencement de la rotation marquée par le sens des flèches, le déroulement de *d* s'effectuant par le rayon de D et des cercles voisins, tandis que l'enroulement de *e* a lieu par la circonférence E et d'autres qui en sont peu différentes, le premier l'emportera sur le second. Le brin *d* s'allongera donc dans le faux puits, plus que *e* ne s'y raccourcira, et, par suite, le contrepoids descendra. Vers la fin de la cordée, ce sera l'inverse, car le déroulement de *d* atteindra les petites spires du tronc de cône postérieur, tandis que *e* arrivera aux grandes circonférences de la base antérieure. Le contrepoids sera donc en train de remonter. L'instant de son plus grand abaissement correspond à celui pour lequel les rayons d'enroulement de *d* et de *e* sont égaux sur les deux cônes. Alors, en effet, une rotation infiniment petite altérant ces deux brins de la même quantité, le poids P reste stationnaire. A la fin de la cordée, tout le système se trouve prêt pour un fonctionnement tout semblable, dans lequel les rôles des deux cages se trouveront intervertis.

On voit, d'après cette explication, que, pendant la descente de P, pour laquelle le câble chargé est plus long que celui de la cage

vide, on trouve un secours, pour le hisser, dans l'abaissement de ce contrepoids. Dans la seconde partie de la course, pour laquelle le câble de la cage vide devient prépondérant, son excès de poids rencontre un antagonisme dans l'ascension de P. De là un élément de régularisation, qu'il est facile de rendre uniforme, comme nous allons le reconnaître.

805 — Continuons à appeler 2N le nombre total de révolutions qui conduisent la cage du fond au jour, et m leur nombre variable à chaque instant, compté à partir du premier instant, et non plus, comme dans les théories précédentes, à partir de la rencontre. Si r et r' désignent les rayons extrêmes des troncs de cône, leur écart $r-r'$ devant s'épuiser en 2N révolutions, proportionnellement au nombre de tours, les rayons d'enroulement seront, à chaque instant :

$$(1) \qquad r - \frac{m}{2N}(r-r'), \qquad\qquad r' + \frac{m}{2N}(r-r').$$

Chacun des brins correspondants supporte d'ailleurs la moitié $\frac{P}{2}$ du contrepoids.

D'après cela, on aura pour le moment total des forces transmises au treuil par les quatre câbles A, B, d, e :

$$\left[Q + q + \chi H\left(1 - \frac{m}{2N}\right)\right] R - \left(q + \chi H\,\frac{m}{N}\right) R$$

$$- \frac{P}{2}\left[r - \frac{m}{2N}(r-r')\right] + \frac{P}{2}\left[r' + \frac{m}{2N}(r-r')\right],$$

ou, en ordonnant :

$$\left[(Q + \chi H) R - \frac{P}{2}(r-r')\right] - \frac{m}{N}\left[\chi HR - \frac{P}{2}(r-r')\right].$$

Si donc on veut que ce moment soit rigoureusement constant,

il suffit d'annuler le coefficient de m, en posant :

$$(2) \qquad \frac{P}{\chi} = \frac{2HR}{r - r'},$$

relation facile à satisfaire, puisque l'on dispose pour cela des trois arbitraires r, r', P.

On remarquera, en outre, que, pour un réavalement du puits transformant la hauteur H, il suffirait de modifier proportionnellement le contrepoids P sans changer le tambour, tandis que le système des treuils spiraloïdes, par exemple, se trouve alors complètement dénaturé, son matériel devant être mis hors de service, si l'on tient à conserver la rigueur de la solution.

806 — Nous pouvons également évaluer la profondeur qu'il est nécessaire de donner au faux puits.

Nous avons vu que l'extrême abaissement du contrepoids correspond à l'égalité des rayons d'enroulement (1) :

$$r - \frac{m}{2N}(r - r') = r' + \frac{m}{2N}(r - r'),$$

d'où l'on déduit :

$$m = N.$$

Il a donc lieu pour l'instant de la rencontre des cages, comme cela devait être, pour que l'inversion de son rôle coïncidât avec le changement de sens de l'excédent de poids des câbles porteurs l'un par rapport à l'autre.

Cet abaissement est d'ailleurs, à chaque instant, la moitié de la variation algébrique des cordelettes d, e puisque ce changement de longueur se répartit également sur les deux brins verticaux. Il a donc pour valeur :

$$\frac{1}{2}\left\{\int_o^N \left[r - \frac{m}{2N}(r - r')\right] d(2m\pi) - \int_o^N \left[r' + \frac{m}{2N}(r - r')\right] d(2m\pi)\right\},$$

ou, en réduisant :

$$\pi(r - r')\int_o^N \left(1 - \frac{m}{N}\right) dm,$$

et, en intégrant :

$$\frac{N\pi}{2}(r - r').$$

Quant à la valeur de N, elle est donnée par l'égalité :

$$2N.2\pi R = H,$$

ce qui fournit, pour la profondeur du faux puits :

$$\frac{H(r - r')}{8R},$$

ou, en ayant égard à la relation d'équilibre (2) :

$$\frac{\chi H^2}{4P}.$$

Elle varie donc proportionnellement au poids par mètre du câble, et en raison inverse du contrepoids, comme il était facile de le prévoir. On voit, en outre, qu'elle est en raison du carré de la profondeur du puits d'extraction.

§ 7

CHARIOTS DE CONTREPOIDS

807 — Si l'on suppose, ainsi qu'il a été expliqué (n° 776), que chaque câble soit séparément équilibré par un chariot, en disposant deux voies côte à côte, nous n'aurons à nous occuper que de l'un d'eux, pour la détermination du profil de ces voies.

Ce câble porteur a pour poids $\chi(H - z)$, lorsque la cage se trouve

soulevée de la hauteur z au-dessus du fond, et qu'une quantité égale de ce câble s'est enroulée sur le tambour cylindrique de rayon R. Désignons par ρ le rayon vecteur de la courbe d'équilibre (fig. 520).

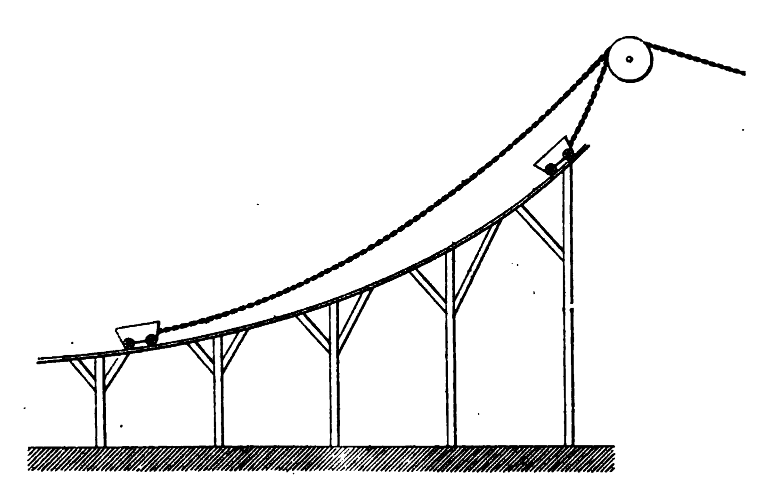


Fig. 520. Chariots de coutrepoids.

Il nous représente la longueur de la chaînette d'attache du wagonnet qui s'est déroulée, de son côté, d'un treuil de rayon r. Nous négligeons, en effet, comme dans le cas précédent, le poids de cette chaînette, en admettant comme conséquence, dans cet aperçu théorique, qu'elle se tendra en ligne droite. On aura d'ailleurs :

$$\frac{z}{R} = \frac{\rho}{r},$$

et, par suite, le poids du câble peut être exprimé par $\chi(H - \frac{r}{R}\rho)$.

Si donc T désigne la tension de la chaînette, il viendra pour l'équilibre des moments de ces deux forces :

$$Tr = \chi R \left(H - \frac{r}{R}\rho\right).$$

De cette manière, le moteur n'aura à vaincre que le poids utile Q, car

les poids morts de l'enlevage proprement dit s'équilibrent mutuellement de leur côté.

Pour connaître cette tension T, nous considérerons l'équilibre du wagonnet, en écrivant l'équation du travail virtuel de ce système à liaison complète, pour le seul mouvement compatible avec ses liaisons. Si P désigne le poids de ce wagon, et y son ordonnée au-dessous de l'axe du treuil, Pdy sera le travail de la pesanteur, et $Td\rho$ celui de la tension de la chaînette, puisque cette dernière s'allonge de $d\rho$ par l'effet du déroulement. Nous poserons donc :

$$Pdy = Td\rho.$$

Il vient, d'après cela, en multipliant membre à membre :

$$\frac{Pr}{\chi R}\, dy = \left(H - \frac{r}{R}\rho\right) d\rho,$$

et, en intégrant :

$$\frac{Pr}{\chi R}\, y = C + H\rho - \frac{r}{2R}\rho^2.$$

Cette équation représente une courbe du quatrième degré, puisque l'on a :

$$\rho = \sqrt{x^2 + y^2}.$$

La présence de la constante arbitraire C tient à ce que l'on reste évidemment maître du choix d'un point de départ. Si, pour fixer les idées, nous assujettissons le profil à passer par l'axe du treuil, de manière que ρ s'annule en même temps que y, nous aurons plus simplement, en faisant $C=0$:

$$\frac{Pr}{\chi R}\, y = H\rho - \frac{r}{2R}\rho^2.$$

En remplaçant maintenant y par $\rho \sin \theta$, et divisant tous les termes

par ρ, il vient, en coordonnées polaires :

$$\rho = \frac{2RH}{r} - \frac{2P}{\chi} \sin \theta,$$

équation d'une *conchoïde de cercle*, facile à construire par points.

§ 8

CHAINES DE CONTREPOIDS

808 — *Chaîne pendante.* — L'emploi des chaînes de contrepoids [1] peut conduire à deux solutions distinctes.

Dans le système de la *chaîne pendante* (fig. 521), une chaînette, dont nous négligerons encore le poids pour plus de simplicité, se déroule du treuil cylindrique d'extraction. Elle passe sur une poulie de renvoi, et supporte, à son extrémité, une chaîne lourde qui pend verticalement dans un compartiment du puits, ou dans un bure spécial. Ce faux puits, ainsi que la chaîne elle-même, présente une hauteur moitié moindre que celle du puits d'extraction. La chaîne a un poids total égal à celui de l'un des deux câbles, c'est-à-dire un poids par mètre moitié moindre.

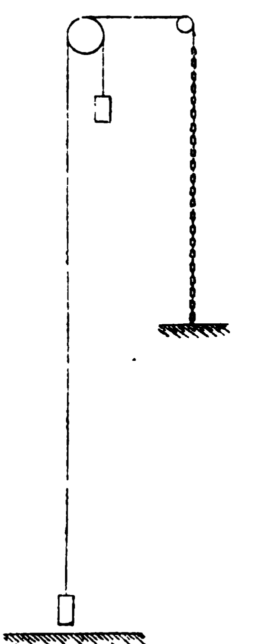


Fig. 521. Chaîne pendante de contrepoids.

Au premier instant, lorsque les cages se trouvent aux extrémités de la course, la chaînette étant entièrement enroulée, la chaîne de contrepoids se tient verticalement, et équilibre exactement le câble. Or je dis qu'il suffit que l'équilibre ait lieu à un instant quelconque, pour qu'il persiste ensuite indéfiniment.

[1] Combes (*Annales*, 3e, XI, 56).

Opérons en effet, par la pensée, un mouvement angulaire arbitraire, en enroulant une certaine quantité de câble et diminuant d'autant le poids de ce dernier. Par cela seul, nous déroulons une quantité égale du second câble. Le résultat sera le même que si, supprimant cette dernière variation, nous perdions sur le premier câble une quantité double de celle qui disparaît réellement. En même temps, une longueur, encore égale, de chaîne se dépose sur le fond du faux puits, en perdant tout son poids (¹); comme, d'ailleurs, elle pèse deux fois plus par mètre courant que le câble, on voit que le contrepoids a diminué, de son côté, de la même quantité que ce dernier, ce qui montre que l'équilibre n'a pas été troublé.

809 — *Chaîne amarrée.* — Dans un second système, la chaîne est amarrée par son extrémité à un point fixe, situé au quart de la profondeur du puits (fig. 522). Elle a encore le même poids que l'un des câbles, mais une longueur quatre fois moindre, et, par suite, un poids par mètre quatre fois plus grand.

Au premier instant, le câble se trouvant entièrement déroulé, la chaîne est toute droite dans le bure, et l'équilibre a lieu.

Si maintenant nous opérons un mouvement angulaire quelconque, nous avons vu qu'on perd par là, du côté chargé, le double du poids de la longueur correspondante du câble porteur. En même temps, l'extrémité libre de la chaîne s'est abaissée d'une hauteur égale à cet enroulement. La boucle qu'elle forme au-dessous de son attache comprend deux brins, qui se partageront également cette variation. L'un d'eux, portant directement sur un point fixe, ne

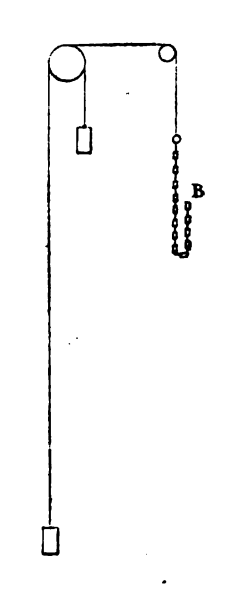


Fig. 522. Chaîne amarrée de contrepoids.

(¹) Je rappellerai incidemment, à ce sujet, que le problème du mouvement d'une chaîne qui se masse sur un plan, ou qui s'en détache, a donné lieu à des considérations intéressantes présentées par MM. Résal (*Comptes rendus de l'Académie des sciences*, XCVII, 1239) et Piarron de Mondésir (*ibidem*, 888; XCVIII, 494, 607).

participe plus à l'équilibre. La perte subie par le contrepoids correspond donc seulement à une longueur de chaîne moitié moindre que l'enroulement du câble. Mais cette chaîne pèse quatre fois plus par mètre courant, et, par suite, la perte de poids total est encore égale de part et d'autre, ce qui maintient l'équilibre.

810 — *Treuils multiplicateurs.* — La hauteur de la chaîne, quoique réduite à moitié, et même au quart de la profondeur du puits, reste encore considérable, et il peut y avoir intérêt à la diminuer encore davantage, pour restreindre, en même temps, la dimension du faux puits. Or rien n'est plus facile que de la modifier à volonté, en faisant varier le rapport des déroulements simultanés du câble et de la chaînette. Cet artifice s'appliquera d'ailleurs indifféremment aux deux systèmes précédents, et je supposerai d'abord, pour fixer les idées, qu'il s'agisse de la chaîne amarrée (fig. 523).

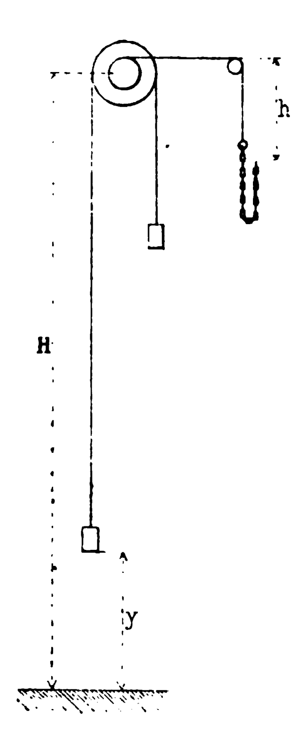


Fig. 523. Chaîne de contrepoids à rayons différents.

Appelons H la profondeur du puits, h celle du point d'attache de l'extrémité de la chaîne, laquelle mesure en même temps la longueur de cette chaîne; P le poids par mètre du câble, p celui de la chaîne, R le rayon d'enroulement du câble, r celui de la chaînette. L'équilibre du premier instant, pour lequel la cage se trouve au fond, tandis que la chaîne se tient verticalement, exige que l'on ait :

$$(1) \qquad \text{PHR} = phr.$$

Supposons maintenant que l'on ait soulevé la cage d'une hauteur y, ce qui équivaut, comme nous l'avons vu, à une diminution de poids,

du côté chargé, égale à $2Py$, et ayant pour moment $2PyR$. Le déroulement de la chaînette sera $y\frac{r}{R}$. Cette longueur de chaîne se répartit également, dans la boucle, entre le brin fixe et le brin pesant. Ce dernier a donc perdu la longueur $\frac{yr}{2R}$, et son moment la variation $\frac{pyr}{2R}r$. Pour que l'équilibre subsiste encore, il faut poser :

$$2PyR = \frac{pyr^2}{2R},$$

ou, plus simplement, y disparaissant :

$$4PR^2 = pr^2.$$

On peut d'ailleurs substituer à cette condition la suivante, obtenue en la divisant membre à membre par la relation (1) :

$$(2) \qquad 4\frac{R}{H} = \frac{r}{h}.$$

Il suffira donc que les six constantes satisfassent aux deux équations (1) et (2), pour que l'équilibre ait lieu à un instant quelconque.

Si, au lieu de la chaîne amarrée, on emploie la chaîne pendante, les mêmes formules subsisteront, pourvu que l'on ait soin de remplacer, dans la dernière, le facteur 4 par le coefficient 2.

CHAPITRE XXXIV

MOTEUR D'EXTRACTION

—

§ 1

ENSEMBLE DU MOTEUR

811 — La machine à vapeur d'extraction se trouve placée dans des conditions particulières et relativement difficiles, en raison de l'irrégularité de ce genre de mouvement.

On y trouve d'abord un motif d'exclusion pour le condenseur, dont le fonctionnement ne saurait s'accommoder de cette intermittence, et qui, en outre, occasionne un certain encombrement, là où l'on doit rechercher avant tout la simplification. Cependant cette double objection disparaît, si l'on admet la présence, sur le carreau du puits, d'une machine condensante, c'est-à-dire d'un moteur spécial actionnant la pompe à air d'un condenseur commun aux divers services : extraction, épuisement, ventilation, etc. Beaucoup de bons esprits, et particulièrement Callon, ont insisté sur l'économie qu'il serait possible de réaliser dans cette voie, avec de moindres difficultés que celles que l'on n'a pas craint d'affronter pour l'emploi de la détente.

Si nous supposons, comme c'est l'ordinaire, l'absence du condenseur destiné à abaisser la contre-pression, la théorie exige du moins, pour le bon rendement, une tension motrice élevée.

Il devient dès lors d'autant plus intéressant, en vue de diminuer la perte de puissance produite par l'échappement, d'atténuer cette pression d'une manière progressive, par l'emploi de la détente. Mais

cette utilité évidente était restée lettre morte jusqu'à ces derniers temps, en raison de difficultés spéciales d'application. Depuis quelques années, l'attention est fixée sur cette question, et l'on a proposé, dans ce but, de nombreux appareils dont l'étude fera l'objet du § 2.

La détente entraînant une importante variation de la force motrice, la présence d'un volant sera nécessaire, pour remédier aux irrégularités de marche qui en seraient la conséquence. Cependant ce volant devra toujours être particulièrement léger, puisque la machine est appelée à s'arrêter à chaque instant après un court fonctionnement, tandis qu'un volant constitue un réservoir de force vive, dont l'importance est en raison de son moment d'inertie et du carré de sa vitesse angulaire. Dans les moteurs d'extraction, cet organe sert surtout à procurer un très grand bras de levier, pour l'action du frein à vapeur (n° 824).

La nécessité de se montrer très réservé, en ce qui concerne le volant, et d'avoir cependant une machine bien en main et très régulière d'allure, conduit à introduire deux cylindres au lieu d'un, en couplant leurs manivelles à angle droit sur l'arbre, de manière à interférer les inégalités dues au passage des points morts. Il existe cependant encore quelques machines à un seul cylindre, mais leur nombre tend à diminuer de jour en jour.

On trouve, à la présence des deux cylindres croisés, un autre avantage essentiel en ce qui concerne le démarrage. Si, en effet, une machine à cylindre unique s'arrête précisément sur son point mort, ou dans une position très rapprochée, la bielle, se trouvant dans l'alignement de la manivelle, ne peut développer aucun moment moteur, quelque effort que l'on exerce sur le piston. Il est donc rigoureusement impossible de mettre en marche, autrement qu'en agissant à bras, avec des leviers, sur les rayons du volant, de manière à écarter suffisamment la manivelle du point mort. Avec les cylindres couplés, au contraire, si l'une des manivelles s'arrête au point mort, l'autre se trouve, par cela seul, rapprochée de son maximum d'effet.

Un obstacle analogue peut se présenter dans les moteurs à détente. Si la machine se trouve arrêtée de manière que le recouvrement du tiroir bouche la lumière d'admission, il devient impos-

sible d'introduire la vapeur dans le cylindre pour mettre en marche ([1]). Au contraire, avec deux cylindres à manivelles croisées,

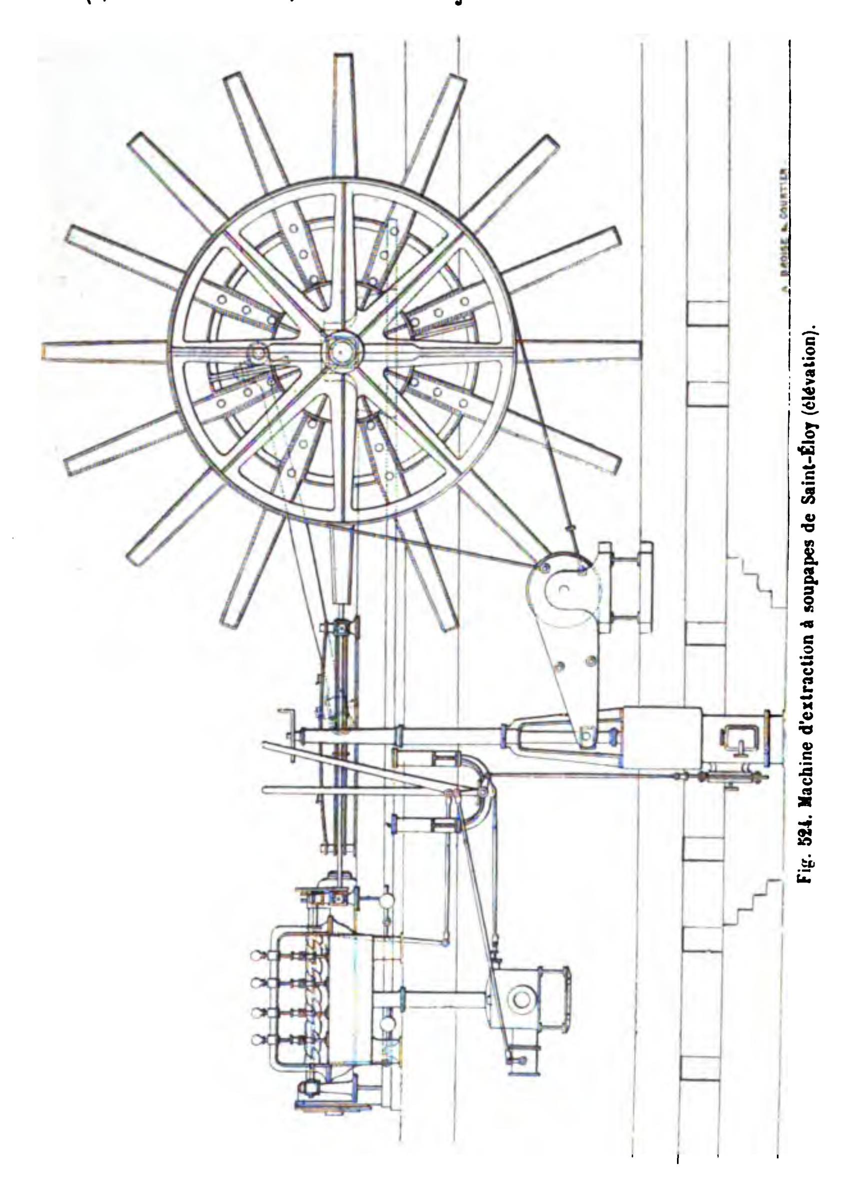


Fig. 524. Machine d'extraction à soupapes de Saint-Éloy (élévation).

([1]) Un moyen très simple de remédier à cette difficulté consiste à faire déboucher, dans les fonds des cylindres, des tubes destinés à y amener directement la vapeur du générateur. Ces tuyaux sont, en temps ordinaire, fermés par un robinet, que l'on n'ouvre

on ne risquera pas de même de rencontrer ce genre d'obstacle pour tous les deux à la fois.

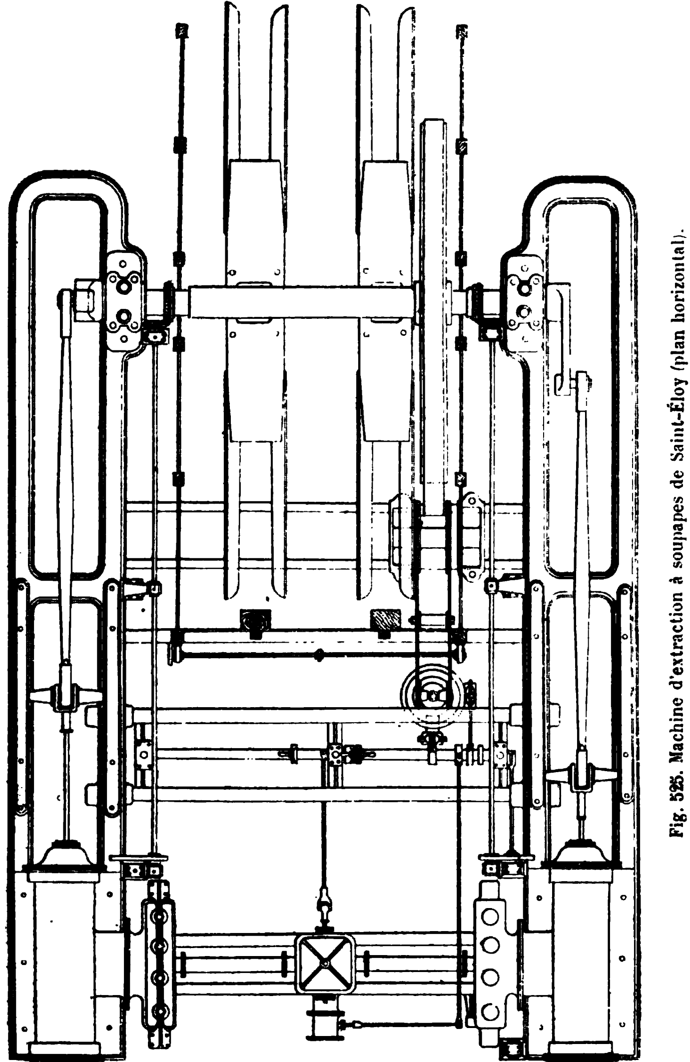


Fig. 525. Machine d'extraction à soupapes de Saint-Éloy (plan horizontal).

On devra calculer le diamètre de chacun de ces cylindres, de

qu'au moment où la difficulté se présente, et que l'on referme dès que le démarrage est opéré.

manière qu'il puisse suffire à lui seul pour effectuer statiquement

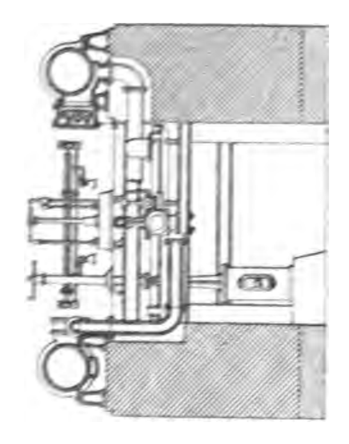
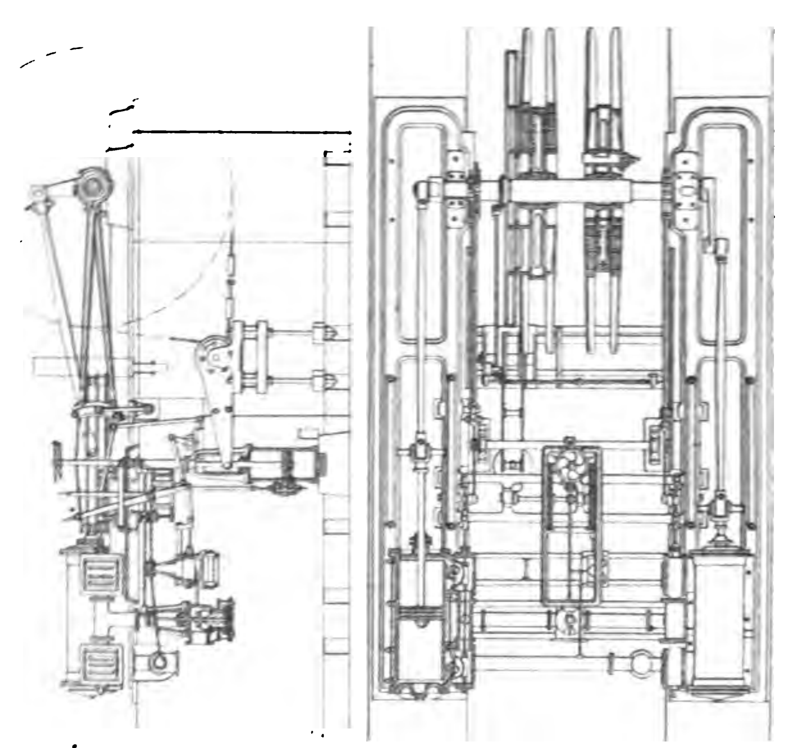


Fig. 586, 587, 588.
Machine d'extraction horizontale,
puits de la Tronquié (Carmaux)
(plan et coupes verticales)



l'enlevage, dans le cas où le second se trouverait à son point mort, et, par suite, sans influence. Il est même bon d'évaluer cet

enlevage ***sans équilibre***, c'est-à-dire en y comprenant, indépendamment de la houille et du câble, la cage et les wagons. Il faut, en effet, prévoir le cas d'une rupture de câble. La seconde cage et les wagonnets n'ayant plus alors de solidarité avec l'arbre des bobines, ne concourent plus à équilibrer le poids mort du premier câble. La même circonstance peut également se produire, si l'une des cages repose sur son clichage, et il importe justement que le moteur soit particulièrement docile pour ces manœuvres. Cet excès de pré-

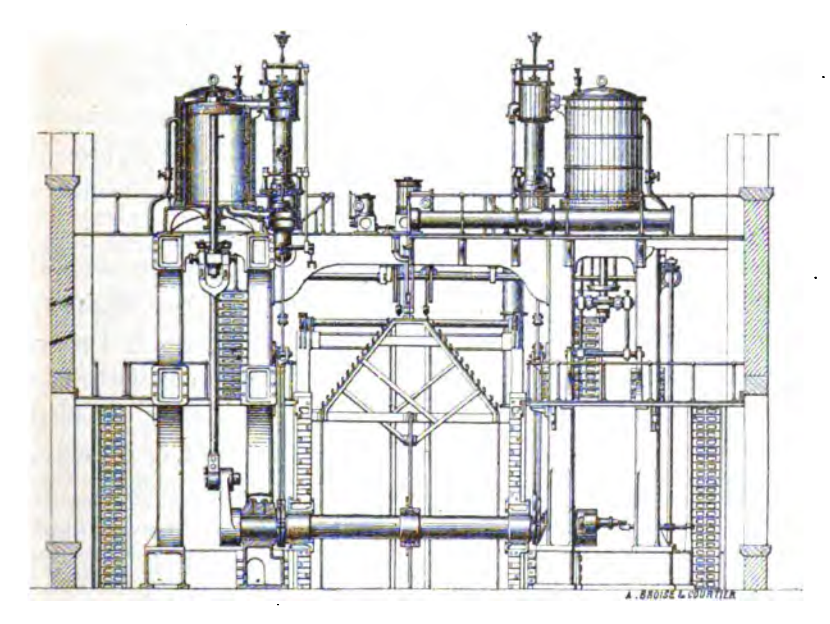


Fig. 529. Machine d'extraction verticale (Harris' Navigation).

voyance aura d'ailleurs l'avantage de permettre à la machine de suffire encore pendant les premiers temps d'un réavalement du puits, avant qu'on ait pu s'en procurer une autre plus puissante.

Il est pourtant nécessaire de se tenir en garde contre l'exagération de ces excédents. Autrement, le moteur étant établi avec de trop gros cylindres, on devrait, pour amortir son excès de puissance, étrangler la vapeur à l'admission, ou tenir la pression basse dans les chaudières, ce qui serait anti-économique.

En même temps que le diamètre des cylindres, leur longueur a

son importance. Elle détermine la vitesse du piston en fonction de celle des cages. On employait souvent autrefois un engrenage pour modifier leur rapport. Mais les constructeurs y ont renoncé pour plus de sécurité. La rupture d'une dent suffisant, en effet, pour mettre la machine en chômage, on ne saurait laisser un service de cette importance à la merci d'un organe aussi précaire. Il n'y a d'exception que pour les machines d'avaleresse. La rapidité de l'extraction importe peu dans ce cas, puisque, au lieu du tonnage exubérant d'une exploitation en pleine activité, il ne s'agit d'extraire que les débris du fonçage. De plus, il est bon d'établir un rapport plus modéré entre les deux vitesses, pour qu'un déplacement donné de la benne dans le puits corresponde à une longueur plus sensible parcourue par les pistons, de manière qu'il soit facile au mécanicien de mettre avec précision les hommes au niveau où ils ont besoin de se maintenir pour des opérations délicates.

On a de même éliminé le balancier, qui constituait une complication inutile, et une masse additionnelle de nature à augmenter la force d'inertie. Il éloigne beaucoup plus le mécanicien de l'orifice du puits. La distance, comme nous l'avons vu (n° 756), doit rester comprise entre 30 et 50 mètres, afin de laisser au câble une inclinaison convenable jusqu'aux molettes, et, d'autre part, de permettre au machiniste de voir clairement ce qui se passe à la recette.

On place, en général, ce dernier dans l'axe de symétrie de l'appareil. Cependant il paraît préférable de le mettre sur le côté. S'il survient, en effet, une rupture de câble, le tronçon sort du puits, passe par-dessus la molette et vient donner un coup de fouet sur la machine, à peu près suivant cet axe. Le mécanicien court donc, dans cette situation, un grave danger. Il convient, par suite, de l'y soustraire, tant dans son propre intérêt, qu'afin d'éviter qu'une appréhension instinctive lui fasse, dans ce moment critique, abandonner son poste, et les organes de manœuvre.

Pour que sa vue plane facilement sur tout l'ensemble, on préfère, la plupart du temps, les machines horizontales (fig. 524 et 525 [1],

[1] Le type de machine d'extraction représenté par les figures 524 et 525 a été construit, en 1873, à Lhorme (Loire), pour les mines de Cessous et Comberedonde, et, en 1875, pour celles de Saint-Éloy, sur un module uniforme de $0^m,80$ de diamètre pour les

et fig. 526, 527, 528 [1]). Cependant certains districts acceptent plus volontiers les cylindres verticaux (fig. 529 [2]). Il entre une grande part d'habitude et de sentiment dans ces choix. Toutefois, les machines verticales présentent réellement l'avantage d'économiser

cylindres et 2 mètres de course. Les mêmes ateliers ont établi des moteurs semblables en 1874, pour le puits Mars (houillères de Saint-Étienne), sur les dimensions $0^m,60$ et $1^m,80$; et, en 1876, pour le puits du Fay (Saint-Chamond), avec $0^m,90$ de diamètre et 2 mètres de course. Depuis lors, la compagnie de Lhorme est revenue à l'emploi des tiroirs, dans la crainte que les soupapes ne retombent pas toujours exactement sur leurs sièges, principalement lorsque les cylindres renferment de l'eau entraînée ou condensée sur les parois, ce qui ferait naître un grave danger, notamment pour la montée des hommes, qui peuvent être ainsi envoyés aux poulies.

Ces soupapes sont manœuvrées, à l'aide de leviers, par huit cames, dont deux servent pour l'admission et deux pour l'échappement à la marche en avant, avec un nombre égal, pour la marche en arrière. En vue de faciliter la manœuvre, on interpose entre les extrémités de ces leviers et les cames de fonte trempée très dure, des sphères libres en acier, susceptibles de rouler dans tous les sens. L'emploi de ces matières très résistantes a pour but de diminuer l'usure, afin de réduire toujours la battue au minimum. Le manchon, porteur de ces cames, est commandé par le levier de changement de marche, équilibré pour être plus docile à la main du mécanicien. Ce dernier a également à sa disposition un second levier pour son frein, et un volant pour le mouvement de la cuvette de prise de vapeur.

(1) Les figures 526, 527 et 528 représentent la machine construite en ce moment par les mêmes ateliers de Lhorme pour le puits de la Tronquié, n° 1, des mines de Carmaux. Elle est à deux cylindres horizontaux, de $0^m,80$ de diamètre et 2 mètres de course. Deux tiroirs, placés aux extrémités de chacun d'eux, permettent de réduire l'espace nuisible au minimum. Un servo-moteur assure la manœuvre rapide et facile de cette distribution, dont tous les organes sont rigides et obéissent géométriquement. Le frein Fayol à vapeur, à pression progressive ou brusque à volonté, donne la facilité de descendre des remblais sans l'emploi de la contre-vapeur. Le mécanicien manœuvre, de la main droite, le levier du servo-moteur, et celui du frein avec sa main gauche. Un volant placé devant lui, à sa portée, commande la cuvette de prise de vapeur.

(2) La puissante machine du puits nord de Harris' Navigation (South Wales) fournit un type remarquable de l'emploi des cylindres verticaux (fig. 529). Le mécanicien se trouve reporté ainsi à un niveau très élevé. La charge est considérable, et comprend 4 tonnes de charbon, 2 tonnes pour 4 bennes vides, et 1 tonne 1/4 pour la cage et les accessoires. Chaque cylindre est capable d'effectuer seul l'enlevage, avec $1^m,37$ de diamètre et $2^m,13$ de course. La distribution de Barclay est à soupapes de $0^m,35$ pour l'admission et $0^m,41$ pour l'échappement. Des pistons à air en amortissent le choc pour les empêcher de se mater. Le mouvement se renverse de lui-même aux extrémités de la course, et le frein s'engage automatiquement, de manière à permettre un ralentissement moins prolongé et une plus grande activité. Le mécanicien dispose, en outre, d'un changement de marche et d'un levier de détente à vapeur. Le puits a 650 mètres de profondeur. Cette hauteur est parcourue en 24 révolutions, dont 10 sur la partie cylindrique (n° 803) et 14 sur la partie conique des tambours, qui présentent des diamètres de $5^m,50$ et $9^m,75$. Cette belle machine fonctionne avec une extrême régularité. (Brown and Adams, *on Deep Winning of Coal*, Proceedings of the Institution of civil Engineers, LXIV, part II, p. 27.)

l'emplacement et de donner, par cela seul, moins de prise aux mouvements provoqués dans le terrain par l'exploitation. D'un autre côté, elles relèvent le niveau de l'arbre des bobines, et rapprochent le câble de l'horizontalité. On a eu recours autrefois aux machines oscillantes, qui ne se recommandent cependant pas d'une manière particulière pour ce genre de service. Je citerai encore l'emploi, très rare, des cylindres inclinés. Une machine de ce genre, construite aux ateliers Fourneyron, pour Lavaveix-les-Mines (Creuse), présente deux cylindres disposés à 45 degrés, et attaquant une manivelle unique, établie dans des conditions plus robustes que chacune des deux manivelles couplées à angle droit du type ordinaire. On n'a plus alors à redouter l'inconvénient des points morts, puisque cette manivelle ne saurait se trouver à la fois dans l'alignement des deux bielles, que leur obliquité écarte peu de la rectangularité.

812 — La grande expansion qu'a subie depuis quelque temps le système compound devait naturellement en amener l'introduction dans l'extraction des mines [1] (fig. 530), et l'on y a notamment procédé avec la plus grande hardiesse aux États-Unis. Cette innovation est, jusqu'à un certain point, discutable, car la

(1) La colossale machine d'extraction des mines de cuivre de Calumet et Hécla, au lac Supérieur (fig. 530), a été construite pour une force nominale de 4700 chevaux, par Morris de Philadelphie. Elle appartient au type compound. Les cylindres ont 1 mètre et $1^{m},75$ de diamètre, avec $1^{m},80$ de course. Le passage de la vapeur de l'un à l'autre s'effectue à travers des réchauffeurs, qui renferment chacun 940 tubes de laiton soumis à l'action de la vapeur des générateurs. La distribution se fait par des tiroirs à grille, au nombre de quatre par cylindre. Les cames qui les gouvernent sont actionnées par un arbre spécial. L'admission, commandée par un régulateur Porter, varie de zéro à 1/6 de la course. Le changement de marche est dirigé par une machine à vapeur auxiliaire. Les bielles sont descendantes. Elles s'articulent, non à des manivelles qu'il faudrait équilibrer, mais à un disque de $3^{m},52$ de diamètre, lequel commande également la bielle horizontale qui attaque l'arbre moteur. Celui-ci tourne à raison de 60 tours par minute. Il pèse 30 tonnes. Les parties mobiles dépassent 25 tonnes, et sont équilibrées par un poids égal. La plaque de fondation est de 65 tonnes. La surface de grille atteint $23^{mq},50$ et la surface de chauffe $990^{mq},00$ répartis sur 3 chaudières. Les tôles sont d'acier sur sole, de 8 à 14 millimètres. La pression s'élève à $9^{kg},50$. On annonce que cette machine fonctionne à raison de $0^{kg},960$ de charbon par cheval et par heure, et de $7^{kg},33$ de vapeur par kilogramme de combustible. (*American machinist*, 25 juin 1881, page 2. — *Engineering*, 12 août 1881, page 166. — *Revue industrielle*, 1881, page 374, pl. XIX.)

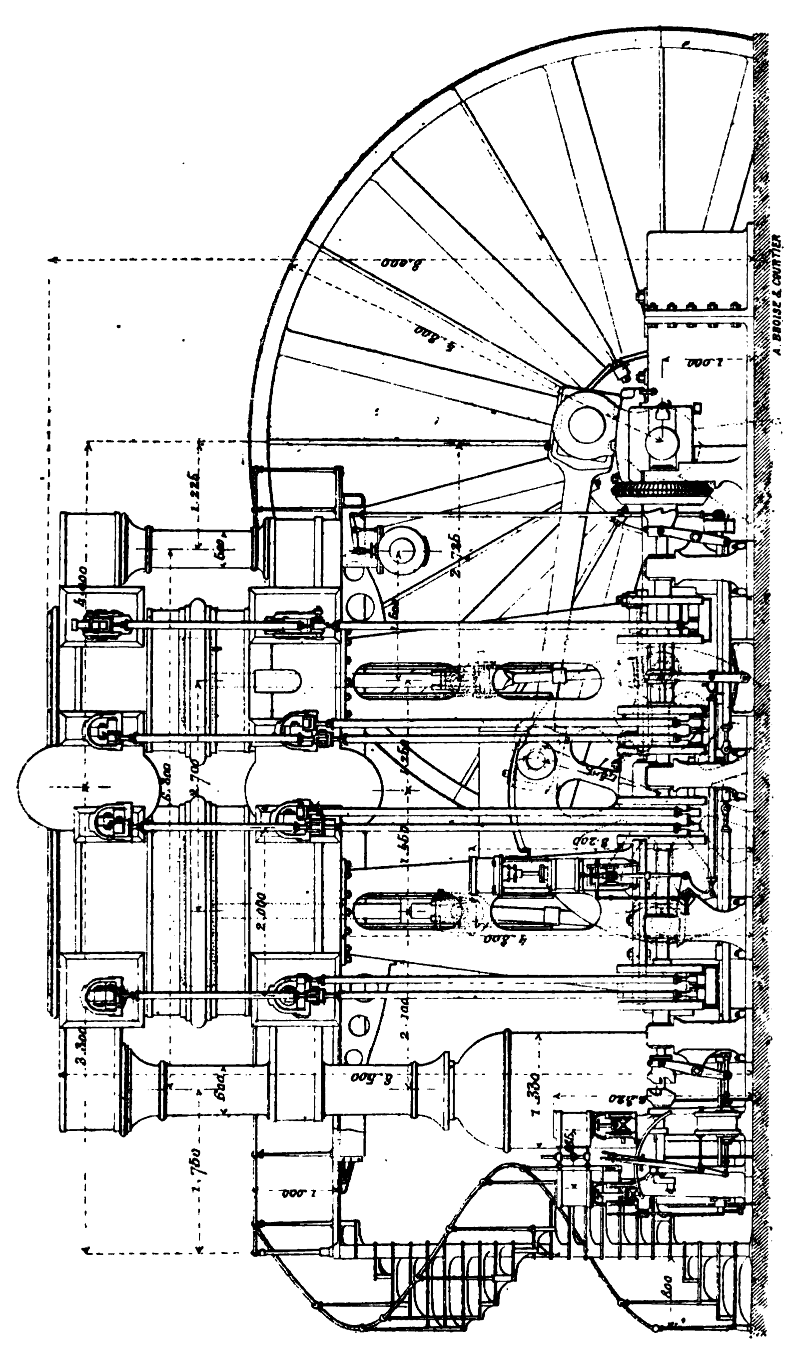


Fig. 530. Machine d'extraction compound (mine de Calumet et Hécla, lac Supérieur).

question d'économie, qui recommande incontestablement ce type, doit ici céder le pas à la nécessité d'avoir la machine parfaitement en main, et docile à la volonté du mécanicien. Or, dans le système ordinaire, le fonctionnement ne dépend que de deux cylindrées de vapeur, placées sur les deux faces du piston, soit en pleine pression ou en détente, soit en échappement ou en compression. Les machines compound, au contraire, renferment à la fois trois cylindrées, dont deux sont situées au delà des faces externes des pistons, et une autre entre leurs faces internes. Pour ce motif, ce type, si bien accepté en général pour les machines de navigation, a été cependant abandonné sur des bateaux, à escales rapprochées exigeant des manœuvres fréquentes, quoique encore bien moins répétées que celles de l'extraction. Les machines de Woolf se recommandent, à la vérité, par un emploi simple de la détente, exempt de toutes les difficultés dont il sera question plus loin, mais à la condition de se borner à la détente fixe, ce qui ne saurait suffire, comme il sera expliqué dans le paragraphe suivant. M. G. Richard [1], pour concilier ces points de vue opposés, a proposé l'emploi du système des compound mixtes, très usité dans la marine, et qui permet, par le jeu d'un simple robinet commutateur, de transformer à volonté le jeu des deux cylindres *successifs* en un système de cylindres *simultanés* couplés à angle droit. On pourrait dès lors fonctionner de cette manière pour toutes les manœuvres délicates, et notamment aux extrémités de la course; de même qu'avec la distribution Scohy (n° 542), on opère en pleine pression, à ces extrémités, et avec détente pour le parcours intermédiaire.

813 — Je ferai une mention spéciale de deux dispositifs, qui ont été imaginés en vue d'éviter l'enroulement de l'un des câbles à la fois par-dessus la molette et par-dessous la bobine, ce qui lui occasionne une double fatigue (n° 730).

[1] Directeur de la Société de constructions mécaniques spéciales, à Vaugirard. Je suis heureux de saisir cette occasion, pour signaler ici l'obligeant et très utile concours que j'ai rencontré chez M. Richard, l'un de mes anciens élèves les plus distingués de l'École supérieure des Mines. Parfaitement au courant de tout ce qui concerne la mécanique, il m'a fourni de nombreux et intéressants renseignements, surtout en ce qui concerne les machines d'extraction et d'épuisement.

Dans le type Colson (fig. 531) ([1]), un cylindre vertical unique actionne une traverse à laquelle s'attachent deux bielles pendantes qui, par le seul fait de la symétrie de l'ensemble, impriment évidemment aux arbres distincts des deux bobines des rotations inverses, tandis que, dans les machines ordinaires, ces organes tournent en

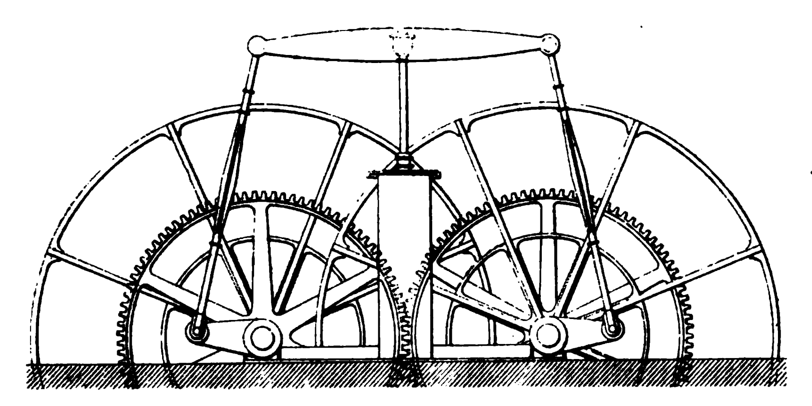


Fig. 531. Machine d'extraction Colson.

même sens. Il suffira donc que les câbles passent sur les deux bobines, en même temps que sur les deux molettes, pour que l'un s'enroule en même temps que l'autre se déroule.

Le système Devillaine ([2]) s'éloigne encore plus du type ordinaire (fig. 532). On y emploie ([3]), au lieu d'un puits unique, deux puits

([1]) Renouvelé de celui qui est représenté sur les planches XXXIX et XL de l'*Atlas de la richesse minérale* par Héron de Villefosse.

([2]) Devillaine (*Bull. min.* 2e, II, 65.) La description de cet appareil est accompagnée, dans ce mémoire (pages 106 à 132), d'un devis extrêmement détaillé du fonçage des puits jumeaux et de l'installation de la machine, qui constitue un excellent modèle de ce genre de documents.

([3]) Cette machine a été construite par M. Chaine, dans les ateliers de Lhorme (Loire), d'après les indications de M. Devillaine, pour le siège d'exploitation qui porte son nom à Montrambert, et qui comprend deux puits jumeaux, de 3 mètres de diamètre et 312 mètres de profondeur.

Le moteur a été composé de deux cylindres verticaux, en vue d'obtenir plus de stabilité avec moins de frottement dans ces terrains en mouvement. Pour le même motif, on a fait porter tout l'appareil sur un bâti, que des vis calantes permettent de redresser s'il vient à subir un déversement. La distribution s'opère à l'aide de tiroirs, et le changement de marche avec une coulisse de Stephenson. Pour en faciliter la manœuvre, on a mis à la disposition du mécanicien un cylindre auxiliaire à vapeur (n° 820), muni d'orifices triangulaires qui permettent d'admettre le fluide moteur en aussi faible

jumeaux, dans chacun desquels circule une seule cage. Les molettes

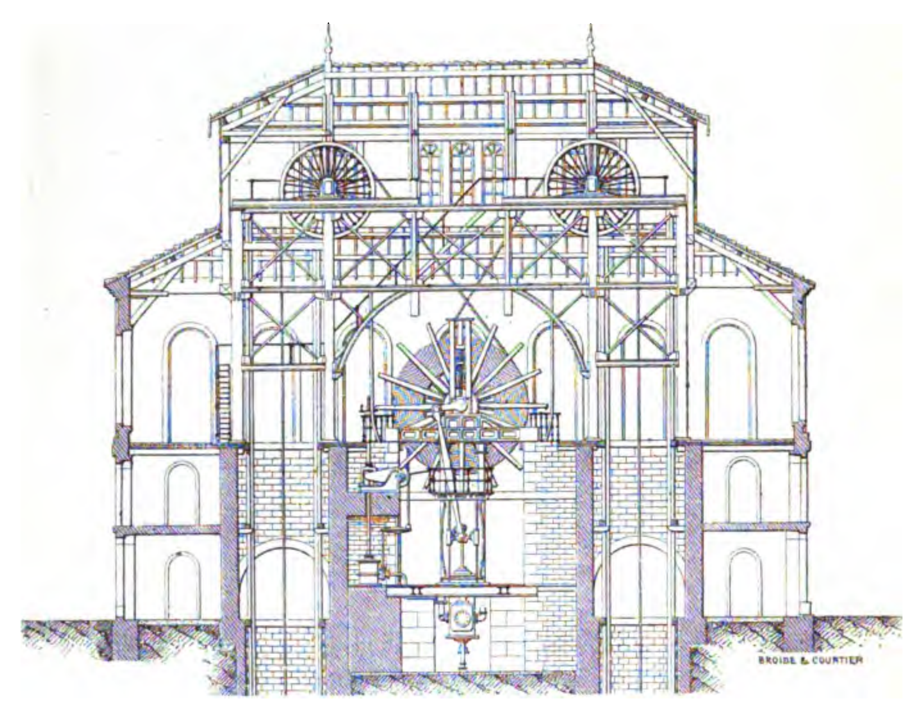


Fig. 532. Machine d'extraction Devillaine.

sont installées sur des axes distincts, de manière à être tan-

quantité qu'on le juge nécessaire. Le frein est à bande de tôle, et susceptible d'arrêt absolu, obtenu à l'aide d'un taquet à vis (n° 824). L'évite-molettes manœuvre un tiroir spécial, distinct de celui de la distribution ordinaire (n° 755). Le poids total de l'appareil est de 92 tonnes, et ses principales dimensions sont les suivantes :

Course des pistons		$2^{m},00$
Diamètre des pistons		$0^{m},80$
—	du cylindre de mise en train	$0^{m},22$
—	du cylindre du frein	$0^{m},55$
—	de la poulie du frein	$5^{m},00$
—	de l'arbre en son milieu	$0^{m},38$
—	de l'arbre aux portées	$0^{m},28$
—	du tourteau des bobines	$3^{m},00$
—	des bras des bobines	$7^{m},00$
Entre-axes des bobines		$1^{m},50$
—	des cylindres	$5^{m},50$

(*Bull. min.* 2e, II, 80, Devillaine.)

gentes aux axes de ces puits. Les deux bobines sont, au contraire, montées sur un même arbre, actionné par des cylindres verticaux dont les manivelles sont couplées à angle droit. Les câbles s'en détachent de deux côtés différents, de sorte que l'un monte pendant que l'autre descend. Ce système présente l'avantage de faciliter les réparations ou le réavalement, en opérant sans équilibre avec un seul puits, tandis que l'on exécute le fonçage dans l'autre. Il admet des diamètres moindres, propriété précieuse quand on se trouve en présence de terrains disloqués et mouvants. En revanche, ce type d'installation entraîne cet inconvénient que la cage, qui obture complètement le puits, y fait l'office d'un piston, et influence, par son mouvement, l'aérage de la mine, bien que son plancher et son toit soient, pour ce motif, établis à claires-voies.

§ 2

DÉTENTE

814 — *Généralités.* — L'application de la détente aux machines d'extraction [1], en vue de réaliser l'économie du charbon [2], prend tous les jours plus d'importance. Il ne sera peut-être pas inutile de faire remarquer, à ce sujet, qu'on ne se préoccupe pas toujours assez des quantités de vapeur dépensées dans les manœuvres sur les clichages, qui sont cependant du même ordre. Les combustibles brûlés sont d'ailleurs presque toujours de mauvaise qualité, car les houillères s'attachent à consommer elles-mêmes

(1) Ledoux, Mémoire sur l'emploi de la détente dans les machines d'extraction (*Annales*, 7e, XVI, 321). — Audemar, Détente dans les machines d'extraction (*Bull. min.*, 2e, II, 569). — Rossigneux (*Bull. min.*, 2e, VIII, 789). — De Quillacq. Note sur les machines d'extraction à détente automatique (*Bull. min.*, 2e, XI, 907). — *CRM*, 1879, 84, Griot; 157, Martin. — Beer, Note sur l'économie de combustible dans les machines d'extraction (*Rev. univ. d. m. et u.*, 1re, XXIX, 415). — Dechamps, Emploi de la détente dans les machines d'extraction (*Rev. univ. d. m. et u.*, 2e, XI, 470).

(2) Les expériences exécutées sur la machine du puits Bruhon (Kladno), par M. Riedler, professeur à l'École polytechnique de Munich, ont accusé, de ce chef, une économie de 40 %. (Habets, *Rapports du jury international de l'Exposition de* 1878, groupe VI, classe 50, page 159).

les produits que le commerce accepterait difficilement, en raison de leur teneur en cendres ou en pyrites.

Une difficulté capitale a entravé pendant longtemps le développement de la détente, et, même encore après les remarquables perfectionnements dont cette matière a été l'objet, on rencontre sur certains puits, armés de machines à détente perfectionnée, le mécanisme calé, et le mécanicien marchant en pleine pression.

Les conditions de ces moteurs sont, en effet, bien différentes de ce qui se passe sur les locomotives, par exemple. Avec ces dernières machines, le mécanicien qui, après un parcours en palier, doit augmenter ou diminuer sa puissance, pour gravir une rampe ou descendre une pente, dispose de tout le temps nécessaire pour sa manœuvre. Elle consiste, en premier lieu, à fermer le régulateur [1], en allégeant ainsi la pression sur le dos du tiroir et, par suite, le frottement de ce dernier sur sa glace. Le mécanicien peut dès lors manœuvrer son levier de détente, en déplaçant le tiroir qui lui obéit sans difficulté. Il rend ensuite la pression dans la boîte à vapeur. La durée nécessaire pour ces opérations est négligeable vis-à-vis de celle du trajet; et l'énorme masse du train fait fonction de volant, pour entretenir la vitesse pendant le temps où l'action motrice se trouve suspendue. En outre, ces manœuvres ne sont qu'accidentelles.

Dans le moteur d'extraction, au contraire, la course est d'une extrême brièveté, et la manœuvre du mécanisme de détente s'y doit cependant répéter deux fois de suite. Il est, en effet, nécessaire, pour les manœuvres sur les clichages, qui s'opèrent souvent sans équilibre en raison de la mollesse de l'un des câbles, d'avoir la machine bien en main, avec toute sa puissance. Le mécanicien doit donc se remettre en pleine pression avant l'arrivée, après s'être mis en détente à la fin de la mise en train. Or les masses en mouvement sont incomparablement moindres que sur les chemins de fer, et, dans le parcours vertical, le ralentissement dû à la pesanteur se fait sentir d'une manière bien plus directe encore que l'effet des

[1] On désigne sous ce nom, qui peut prêter à ambiguité, la valve qui sert à étrangler, ou à fermer complètement, la communication entre la chaudière et la vapeur.

résistances à la traction sur les voies ferrées. On manque donc, à la fois, de temps et de masse régulatrice, pour opérer comme dans le cas précédent, et quant à la manœuvre directe du tiroir sans fermer le régulateur, elle deviendrait, en général, absolument impossible, en raison de l'énorme puissance de certaines machines et des grandes dimensions qui en sont la conséquence.

L'emploi de moyens détournés était donc nécessaire pour rendre pratique cette opération. On a, sous ce rapport, le choix entre trois principes distincts : la détente à la main, la détente au régulateur, la détente automatique.

815 — *Détente à la main.* — Dans le premier mode, on se propose d'alléger, pour le bras du mécanicien, la manœuvre de la distribution, autrement que par le procédé qui vient d'être reconnu inacceptable.

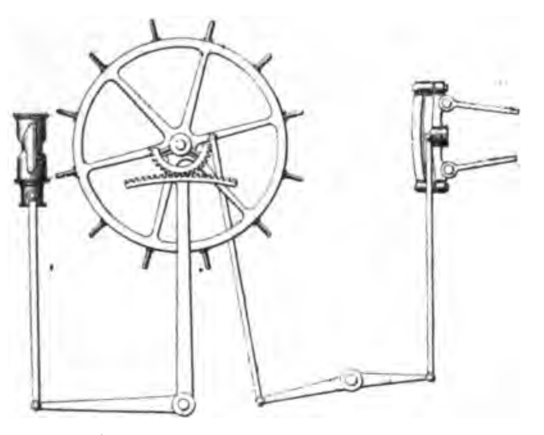
On peut d'abord, en laissant au mécanisme toute sa résistance, sans chercher à l'atténuer, développer, en antagonisme, une puissance auxiliaire mise à la disposition du mécanicien pour surmonter cet obstacle. Cette solution est elle-même susceptible de formes diverses que nous énumérerons plus loin (n° 820), et dont la plus caractéristique est le servo-moteur.

On peut, en second lieu, avoir recours aux tiroirs équilibrés [1], sur la surface desquels les pressions se compensent, de manière à réduire, dans un rapport notable, le frottement qui est proportionnel à leur résultante, en ne laissant à cette dernière que la valeur nécessaire pour l'étanchéité de la distribution.

On peut enfin disposer l'organisme lui même de la distribution en vue de couper la vapeur, ou, du moins, de l'étrangler notablement, pendant la plus grande partie du déplacement qu'il s'agit d'effectuer à la main, en rétablissant automatiquement la pression lorsque ce déplacement n'a plus qu'à se terminer sur une très faible étendue. De cette manière, la capacité de travail que l'on peut

[1] Système Heusser, avec le tiroir à piston, au puits Sainte-Hortense de Lalle. — Système Schivre, avec une distribution à robinets (*Mémoires de la Société des ingénieurs civils*, 3e, IX). — Schivre, *Études sur les tiroirs équilibrés*, Mons, 1883. — Détente Rossigneux (*CRM*, 1878, 62).

attendre du bras de l'homme suffit pour effectuer la manœuvre C'est le but que s'est proposé M. Audemar ([1]), en combinant d'une manière très ingénieuse (fig. 533) la coulisse de Stephenson et le manchon à bosse.


Fig. 533. Détente Audemar.

Le principe de la détente à la main présente les avantages que l'on peut évidemment attendre de l'intervention raisonnée de l'homme, appréciant avec son intelligence les effets à produire. Mais, d'un autre côté, le mécanicien d'extraction a déjà une énorme responsabilité. Son attention est constamment soutenue et, par cela seul, fatiguée. On doit donc éviter, autant que possible, d'y ajouter aucune autre préoccupation. En outre, les machinistes répugnent d'ordinaire à l'emploi de la détente, si on ne les y porte pas à l'aide d'une surveillance étroite, ou de primes proportionnelles aux économies de combustible qu'ils réalisent. De là une certaine tendance à l'emploi des moyens mécaniques indépendants du mécanicien.

816 — *Détente au régulateur.* — La détente au régulateur ([2]) forme, en quelque sorte, à cet égard, un intermédiaire. Elle ne

([1]) Je n'ai pas besoin d'avertir que je ne saurais entrer ici dans des détails descriptifs, qui appartiendront au *Cours de machines* destiné à faire suite à ce *Cours d'exploitation des mines*, et qui forme la seconde moitié de mon enseignement à l'École supérieure des Mines. Les considérations générales comprises dans ce chapitre, qui ont une très grande importance, supposent chez le lecteur la connaissance préalable de la machine à vapeur, au moins dans ses grandes lignes. Elles sont seulement destinées à préciser les conditions de l'appropriation spéciale de ce moteur au service de l'extraction des mines.

([2]) *CRM*, 1879, 157. — *The Engineer*, 25 octobre 1878, 299; 22 juillet 1881, 59. — *Engineering*, 28 février 1879, 178.

suppose plus, comme la précédente, l'application et la volonté d'un être intelligent; et cependant elle se modèle incessamment et avec fidélité sur les circonstances variables du régime de la ma-

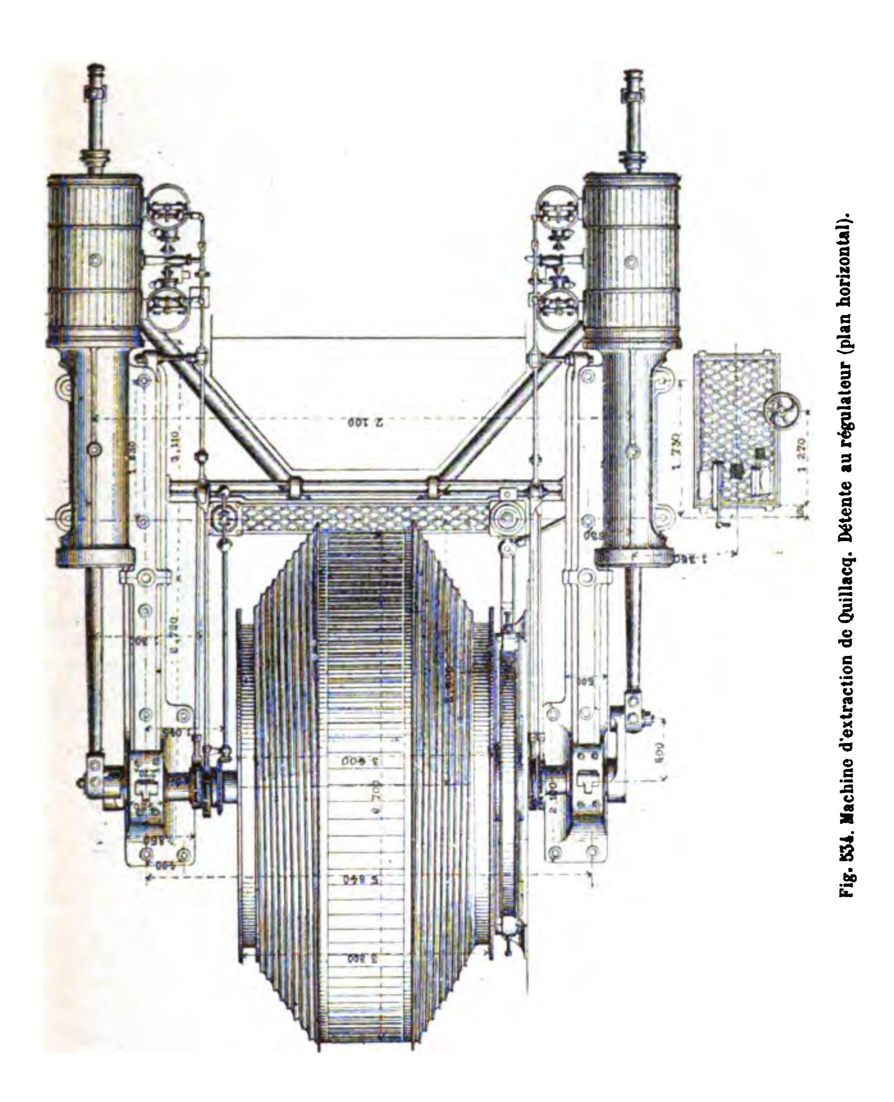


Fig. 534. Machine d'extraction de Quillacq. Détente au régulateur (plan horizontal).

chine, en raison de la sensibilité du modérateur, sans présenter l'inflexibilité de la détente automotrice.

Plusieurs machines d'extraction ont été déjà munies de ce

système par M. Beer de Jemeppe en 1871 (1), et, depuis lors, par

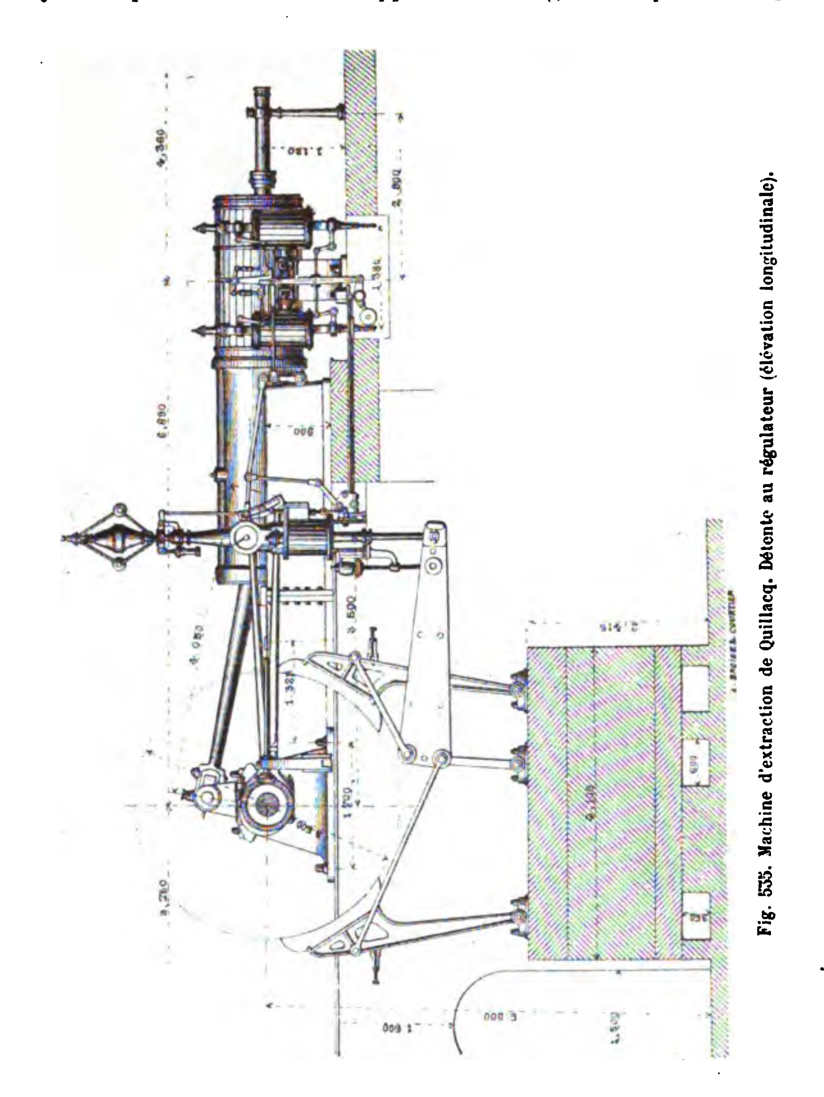


Fig. 535. Machine d'extraction de Quillacq. Détente au régulateur (élévation longitudinale).

MM. de Quillacq (fig. 534, 535, 536) (2), Sulzer, Carels, Morris, etc.,

(1) Note sur l'économie de combustible dans les machines d'extraction (*Rev. univ. d. m. et u.*, 1871, 415). — *Engineering*, 13 décembre 1878, 477.

(2) Cette machine a été construite par les ateliers de Quillacq, pour le puits Saint-Louis d'Aniche. La distribution s'opère à l'aide de quatre soupapes, manœuvrées au moyen d'un système breveté, à coulisse, de Gooch. Elles sont réparties deux par deux à chaque

à l'aide de régulateurs à boules, et même (¹) de modérateurs hy-

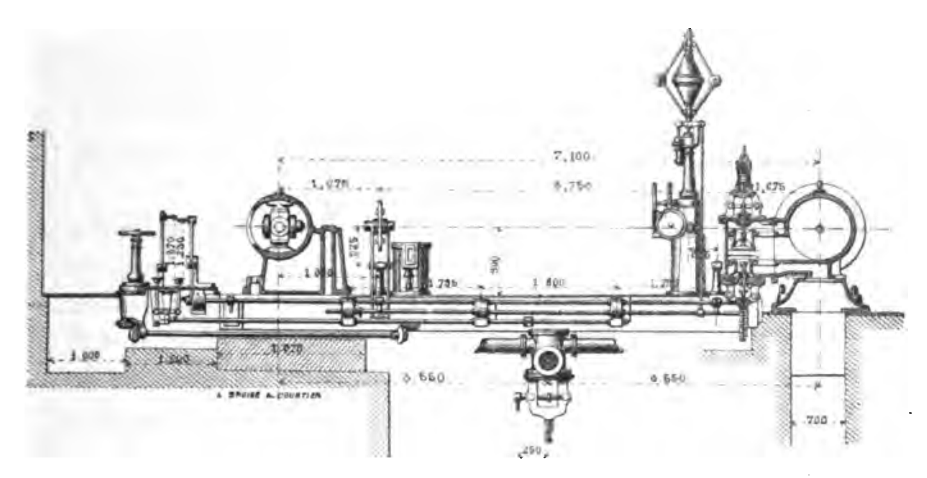


Fig. 536. Machine d'extraction de Quillacq. Détente au régulateur (coupe transversale).

drauliques. L'appareil à force centrifuge, qui est, de beaucoup, le

extrémité du cylindre. Les clapets d'admission sont seuls influencés par le régulateur de vitesse. Pour le cas où le moment moteur viendrait à changer de signe, par suite d'une variation dans l'enlevage ou d'un réavalement, ces dernières soupapes cesseraient de se lever et celles d'échappement deviendraient des clapets d'aspiration d'air. Ce fluide se comprimerait alors derrière le piston, en créant une résistance. Pour limiter sa tension et permettre son échappement, on a disposé des soupapes de sûreté aux extrémités de la course.

Les principales dimensions sont les suivantes :

Piston, diamètre	0m,850
— course	1m,600
Soupapes d'admission, diamètre	0m,240
— — levée	0m,028
— d'échappement, diamètre	0m,290
— — levée	0m,035
Tige du piston, diamètre	0m,120
Arbre, diamètre au milieu	0m,420
— aux tourillons	0m,300
Longueur des tourillons	0m,500
Bras de manivelle	0m,800
Diamètre du volant	3m,500
— cylindre de frein	0m,350
— câble rond d'acier	0m,045
— tambour conique, petite base	4m,500
— — grande base	6m,700

(¹) Comme à Sacré-Madame.

plus employé, met de lui-même en pleine pression aux extrémités, par la chute de ses boules due à la lenteur du départ et de l'arrivée. A la vérité, le ralentissement qui précède la fin de la course présente ce contresens d'augmenter l'admission, au moment où il s'agit précisément de laisser éteindre la force vive. Mais il faut remarquer que la valve d'admission se trouve alors fermée ou étranglée par le mécanicien, pour préparer l'arrêt.

Il est toutefois nécessaire de mettre à la disposition de ce dernier un moyen de caler le régulateur à boules, lorsque, pour un motif quelconque, il veut marcher en pleine pression pendant toute la durée de l'ascension. C'est notamment ce qui arrive quand il doit monter des hommes, quoique le ralentissement réglementaire de l'allure en pareil cas suffise ordinairement, en mettant les boules à bas.

La commande par le modérateur doit, autant que possible, s'appliquer à des organes légers, particulièrement des distributions à déclics, comme celles qui sont sorties des ateliers de Quillacq. En même temps, ce régulateur doit être puissant, pour posséder la force indispensable à ces manœuvres; et d'une sensibilité modérée, le volant suffisant normalement à l'uniformisation de la révolution. Sans cela, un régulateur trop susceptible se maintiendrait dans un état d'agitation perpétuelle.

817 — *Détente automatique.* Le troisième moyen d'action est la détente automatique. Il présente deux variantes distinctes, suivant que l'on se contente d'une détente fixe, qui est en général du tiers ou du quart, ou que, en vue de réaliser une solution plus satisfaisante, on exige une détente variable, capable de s'adapter aux changements qu'éprouve la résistance pendant l'ascension.

Dans le premier genre, on peut citer la détente de Bource [1] ou celle de Scohy [2]. Pour cette dernière (fig. 537), il suffit d'imaginer une distribution dont l'admission et l'échappement soient réglementés par des organes distincts. L'aménagement de la vapeur est

[1] Timmermanns, *Machines d'extraction*, 1877, Bruxelles, p. 52.
[2] Notice sur la détente Scohy, Mons, 1870.

réglé par un mécanisme ordinaire, qui découvre, ou vient masquer les lumières destinées au passage de ce fluide. Seulement, à certains points de la course des cages, voisins des extrémités, des taquets automoteurs ouvrent à la vapeur une entrée directe, *en aval* du point où elle est coupée, dans les lumières, par la distribution normale. Le cylindre se trouve ainsi alimenté en pleine pression, bien que le mécanisme de détente continue d'exécuter ses mouvements, mais en arrière du point d'entrée actuel de la vapeur.

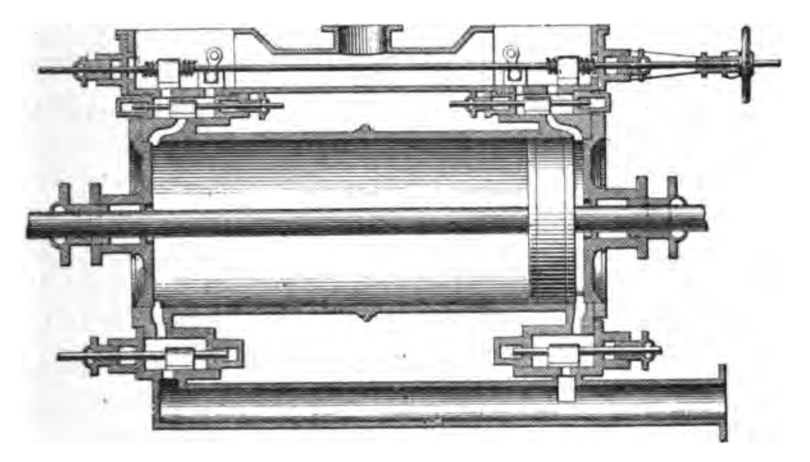


Fig. 537. Détente Scohy.

Ce principe a été varié de différentes manières, et l'on a même introduit des moyens de réglage, pour modifier à volonté l'instant de la mise en pleine pression. Par exemple [1], une vis actionnée par la rotation promène en ligne droite un écrou, qui vient engager la détente au bout d'un nombre de tours variable, d'après la position initiale qu'on lui donne à volonté sur le noyau fileté. D'autres fois [2], le même résultat est obtenu à l'aide d'une cataracte hydraulique, que le mouvement de la machine remplit d'une manière variable à volonté.

[1] Machine construite par les ateliers de Marcinelle et Couillet, pour le puits Piges de Sacré-Madame (*The Engineer*, 10 septembre 1880, 196).

[2] Machine d'extraction de 1000 mètres du puits Adalbert de Przibram (*Engineering*, 8 juin 1877, 441).

818 — Le second type est représenté principalement par la détente Guinotte ([1]), dont l'ingénieux dispositif a été varié par son auteur de bien des manières différentes. En faisant abstraction de ces modifications de l'organisme de distribution, le principe fondamental est le suivant.

M. Guinotte adopte, pour plus de simplicité, le tambour cylindrique avec le câble rond. L'enlevage est donc variable à chaque tour en raison de l'enroulement. Si l'on calcule le travail nécessaire pour chacun des coups de piston successifs, on en peut

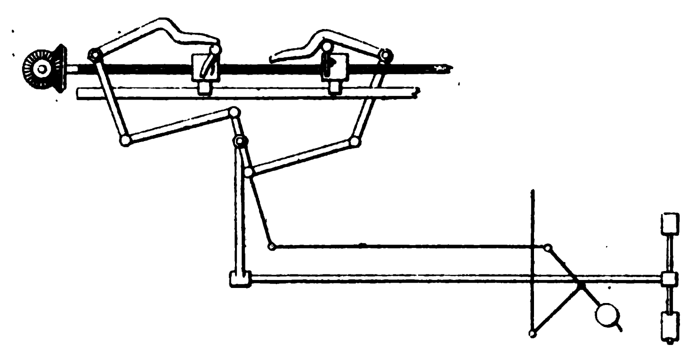


Fig. 538. Détente Guinotte.

déduire le degré de détente qui lui correspond, pour égaliser la puissance et la résistance. Une came, qui a reçu le nom de *sabre* (fig. 538), est mise en rotation par une vis sans fin manœuvrée par la machine. Son profil est déterminé par points, de manière à mettre, à chaque instant, le levier de distribution exactement au point voulu.

On reproche à ce système, outre une grande complication, sa précision même, qui le met en discordance pour la moindre variation de l'enlevage ou de la profondeur. On se trouve, par exemple,

([1]) Guinotte, *Étude sur la détente variable dans les machines d'extraction*, Mons, 1871. — Herdner, Étude sur les distributions par tiroirs dans les machines d'extraction et particulièrement sur le système Guinotte (*Annales*, 7ᵉ, XII, 5). — Petau, Machines à vapeur d'extraction du système Guinotte (*Publication industrielle d'Armengaud*, 1876). — Chansselle (*CRM*, septembre 1876, 21). — Pichault (*Annales industrielles*, janvier 1874). — Dwelshauvers-Dery (*Rev. univ. d. m. et u.*, 1ʳᵉ, XXXIV, 160). — Timmermanns, *Étude sur la machine d'extraction à détente*, p. 36 et 50.

dans la nécessité de changer de sabre, lorsqu'il s'agit d'extraire successivement à divers étages.

Quant au choix à faire entre ces deux modes essentiels d'emploi de la détente automatique, on admet en général que, pour peu qu'un appareil d'extraction soit convenablement équilibré, une détente fixe est préférable en raison de sa simplicité, et on la prend inférieure à 1/2, pour que l'un des cylindres, au moins, reçoive de la vapeur dans toutes les positions du système, et que l'on puisse toujours démarrer. D'ailleurs cet équilibre approximatif s'obtient aisément sur les bobines, avec les câbles d'aloès qui présentent une grande épaisseur régulatrice, quoique moins facilement avec l'acier.

§ 3

MOYENS D'ACTION DU MÉCANICIEN

819 — *Mécanicien d'extraction.* — Le mécanicien d'extraction tient entre ses mains la vie des hommes renfermés dans la cage. En dehors même de ce cas, il peut, par une fausse manœuvre, amener une avarie ou la destruction du matériel, en provoquant, comme conséquence, un chômage plus ou moins long, et les pertes commerciales qui en sont le résultat. On ne saurait donc apporter trop de soin à ne confier ce poste qu'à un homme dont l'expérience, le sang-froid, la sobriété, présentent toute garantie, et dont la santé ne l'expose pas à des éblouissements ou à des syncopes.

C'est une faute trop fréquente, d'exiger de la part des machinistes un effort d'attention prolongé au delà de ce que comportent raisonnablement les possibilités humaines, en lui imposant des postes trop longs. Il est, à la vérité, difficile de ne pas mettre leur service en rapport avec les heures du fond. Il faut simplifier autant que possible leur action, et ne leur demander que des manœuvres simples et peu nombreuses, en réservant à des aides toute la part de surveillance, de graissage et de nettoyage qui peut leur être attribuée sans inconvénient. On accordera, comme stimulant, des primes pour certains intervalles de temps écoulés sans aucun accident, en même

temps que des amendes seront infligées pour les diverses irrégularités dues à la négligence ou à la distraction.

820 — *Organes de manœuvre.* — La salle des machines doit être spacieuse et bien éclairée. Le mécanicien peut rester assis pendant les manœuvres ordinaires, en se tenant debout pour les opérations plus délicates.

Il saisit, de la main droite, son levier de changement de marche, et, de la main gauche, le régulateur d'admission. Il a également à sa portée le levier du frein à vapeur (n° 824), soit en y laissant tomber sa main, soit en enfonçant une pédale avec le pied. Une pédale spéciale sert à dégager l'évite molettes, lorsqu'il lui est arrivé de jouer automatiquement afin d'arrêter la cage, et qu'il s'agit de remettre les choses en ordre, pour le fonctionnement normal.

Souvent, au lieu de levier de manœuvre, on emploie une roue à poignées, comme pour le gouvernail d'un navire.

Dans les machines puissantes, on a quelquefois introduit de grands leviers, manœuvrés par deux hommes debout qui font un pas en avant ou en arrière. Seulement cette association de deux volontés, bien que l'une doive rester subordonnée à l'autre, empêche la rigoureuse unité d'action, et doit être évitée.

On a aussi cherché la puissance nécessaire dans le changement de marche à vis. Mais ce système, excellent pour les locomotives, avec lesquelles il ne fonctionne qu'accidentellement, a, dans les machines d'extraction, où il est perpétuellement en action, le défaut d'engourdir le bras du mécanicien.

On emploie, dans les grandes machines, un cylindre à vapeur spécial, que le mécanicien engage à l'aide d'un mécanisme présentant peu de résistance. Ce cylindre est calculé de manière à pouvoir vaincre l'inertie et les frottements du mécanisme de distribution.

Afin d'avoir bien en main cet auxiliaire, et de demeurer maître d'arrêter l'action au point voulu, en évitant que la vapeur introduite ne pousse inévitablement son piston à fond de course, on a introduit une résistance additionnelle qui reste soumise à la volonté de l'homme. On la trouve dans le passage de l'eau, com-

primée par le mécanisme auxiliaire, à travers un circuit que l'on étrangle d'une manière arbitraire avec un robinet, de manière à tenir compte des variations de résistance occasionnées par le graissage. On règle alors le système, de telle sorte que la somme de cette résistance additionnelle et de celle de la distribution soit supérieure à la puissance du cylindre auxiliaire à vapeur, et en paralyse l'action ; tandis qu'au contraire celui-ci reprend la prépondérance, si on lui adjoint un effort modéré, emprunté à la force musculaire du mécanicien.

Ajoutons encore que l'on a complété cet ensemble de moyens d'action, en introduisant, sur un certain nombre de puits, le servo-moteur proprement dit, qui porte à sa plus parfaite expression la subordination de la machine à la volonté du mécanicien [1].

On a enfin employé, au lieu du secours à la vapeur, celui de l'eau sous pression, pour gouverner la distribution des grandes machines à vapeur d'extraction. C'est le cas, par exemple, du puits Adalbert de Przibram, où le moteur, après avoir attaqué avec une force de 266 chevaux, finit la cordée avec une puissance de 8 chevaux [2].

821 — *Signaux.* — Le mécanicien obéit aux signaux qui lui sont adressés, soit du fond, soit de la recette extérieure. On peut ranger en trois classes ces moyens de correspondance.

Un premier genre comprend les signaux que les hommes en circulation dans les puits peuvent adresser, d'un point quelconque de la hauteur, ce qui est d'une grande utilité pour les réparations, comme pour les cas de détresse. Ce sont, avant tout, les cris, qui s'entendent, pour de grandes profondeurs, sans une déperdition sensible du son ; en second lieu, les sonneries manœuvrées avec de petits câbles en fer, que l'on peut saisir en un point quelconque du puits ; enfin des tringles de fer régnant du haut en bas, et sur lesquelles on frappe un nombre de coups déterminé, quand on veut transmettre les commandements les plus habituels. L'un des plus essentiels est celui d'*attention aux hommes*, pour lequel le méca-

[1] *CRM*, 1876, décembre, 7, Chansselle. — *Rev. univ. d. m. et u.*, 1re, XL, 101.
[2] Habets. *Rapports du jury international de l'Exposition de* 1878. groupe VI, classe 50, p. 16.

nicien doit redoubler de soin, en ralentissant sa marche, et le chef des receveurs se tenir sur le bord du puits.

822 — La seconde catégorie comprend les signaux qui ne peuvent être adressés que de la recette seulement. Ils viennent s'ajouter aux précédents pour le service de cette recette. On y peut comprendre le *tube acoustique*, dont la portée utile dépasse difficilement 200 mètres; le *tube hydraulique* renfermant une colonne d'eau dont l'incompressibilité sert à transmettre à un piston supérieur tous les mouvements que l'on imprime à un piston inférieur; le télégraphe électrique, organe bien délicat pour figurer au milieu de manœuvres aussi brutales; enfin le téléphone que l'on a commencé à essayer dans quelques mines, quoiqu'il s'accommode difficilement du vacarme des recettes.

823 — Le troisième genre comprend des signaux automoteurs, qu'on ne doit jamais manquer de mettre à la disposition du mécanicien. Ce sont d'abord des marques tracées sur le câble, avec des traits à la craie ou à la peinture blanche, indiquant par leur sortie du puits que la cage approche, pour que le machiniste se rende maître de sa vitesse, afin de pouvoir effectuer l'arrêt dès qu'elle apparaîtra. Parfois le câble est terminé par un bout de chaîne assez long pour qu'on ait le temps, en le voyant sortir du puits, d'exécuter les manœuvres. Il est nécessaire que le câble soit, pendant la nuit, fortement éclairé par des réflecteurs.

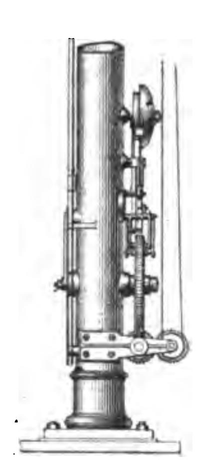


Fig. 539.
Indicateur d'extraction à sonnerie.

On joint à ces signaux visibles des sonnettes ou des timbres de tonalités variées (fig. 539), qui sollicitent l'attention du mécanicien en cas de distraction. L'une d'elles annonce l'approche, la seconde la sortie de la cage; une troisième sonne l'alarme, si l'enlevage s'engage sur la distance qui sépare le clichage des molettes; une quatrième s'ajoute quelquefois aux précédentes, pour accuser l'agitation de la suspension à ressort des

molettes, en indiquant une surcharge ou une mauvaise allure, et mettant ainsi l'attention en éveil. Certains signaux sont mus par l'électricité (¹).

On place enfin sous les yeux du mécanicien un modèle, à échelle réduite, de l'intérieur du puits et de ses accrochages, avec deux petites cages mobiles conduites d'une manière synchrone du mouvement des cages d'extraction, à l'aide d'une vis manœuvrée par l'arbre des bobines. On a également employé, au lieu d'une représentation rectiligne, un cadran circulaire, muni de deux aiguilles analogues à celles des horloges. L'une d'elles, qui accom plit un peu moins d'une révolution, indique, sur un arc gradué, le nombre de rotations. La seconde, qui tourne comme l'arbre lui-même, sert à apprécier les fractions de tour. On adjoint souvent à ces indicateurs un compteur-totaliseur qui enregistre les nombres de tours et de cordées, de manière à en fournir immédiatement le chiffre à la fin du trait.

824 — *Frein.* — La machine d'extraction doit être munie d'un frein à poids, ou, plus souvent, à vapeur, assez puissant pour l'arrêter en pleine marche, même avec l'admission ouverte en grand. Il consiste en un cylindre spécial, d'un diamètre suffisant pour exercer l'effort nécessaire, en fonction du timbre de la chaudière.

La tige du piston actionne, à l'aide de bielles de renvoi, deux sabots (fig. 540) ou une bande de tôle (fig. 526), qu'elle comprime contre la jante du volant. Cet organe fournit, en effet, des surfaces animées d'une très grande vitesse, capables, par suite, de déterminer un grand travail de frottement. La symétrie de cette sorte de mâchoire prévient toute tendance à fausser l'axe. On donne à ces sabots une grande superficie, non pas, bien entendu dans la pensée d'augmenter par là le frottement, puisqu'il est indépendant de l'étendue des surfaces en contact et ne dépend que de la force normale, mais afin de diminuer la pression par unité de surface, et, comme conséquence, l'usure et l'échauffement.

(¹) Ponson, *Supplément*, II, 297. — *Bull. min.*, 1re, XV, 254. — Köhler, *Lehrbuch der Bergbaukunde*, 396.

Il convient, dans les intervalles de repos, d'engager le frein d'une

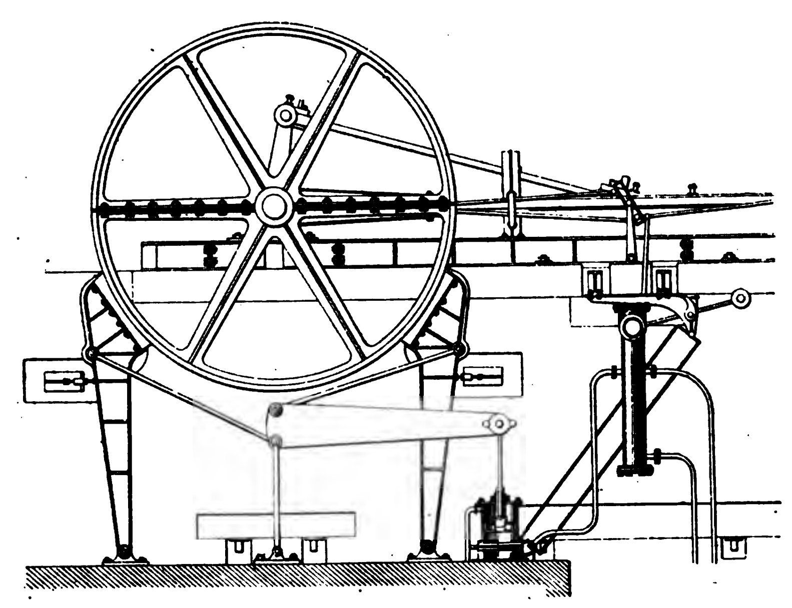


Fig. 540. Frein à vapeur.

manière permanente, afin d'éviter que quelque fausse manœuvre ne remette en marche d'une manière intempestive. Il est bon, dans ce cas, de ne pas se fier uniquement à la pression de la vapeur, qui pourrait elle-même se trouver supprimée par inadvertance. A cet effet, on dispose sur la tige du piston une coulisse AB (fig. 541, 542, 543), dans laquelle se trouve engagé un bouton C, que l'on peut élever ou abaisser à l'aide d'une vis. En temps ordinaire, ce bou-

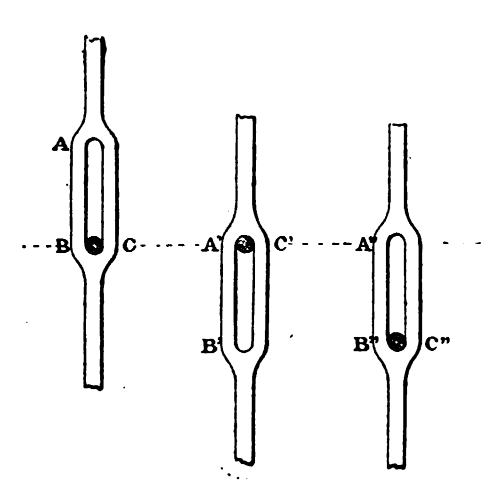


Fig. 541, 542, 543. Fixation du frein.

ton est laissé au niveau C, C′, et la coulisse prend les positions AB, si la machine est en liberté, ou A′B′ pour le serrage pur et simple. Mais, si l'on veut caler le frein, on a soin, en laissant la coulisse dans cette dernière position A″B″, d'y abaisser, en C″, le bouton qui l'empêchera de se relever, lors même que la pression de vapeur se trouverait supprimée.

Quelquefois, à l'action statique du frein, on adjoint l'influence dynamique de la contre-vapeur. Mais cette manœuvre, relativement rare, n'est pas sans danger, et d'ailleurs elle ne dispense pas de l'installation d'un frein à vapeur ordinaire.

825 — M. James Paterson a établi à la houillère de Blantyre un frein à air ([1]). On trouve, au remplacement du frottement par la compression de l'air, cet avantage, que la mise en tension de ce fluide, dans la cavité où il se trouve accumulé, constitue un réservoir d'énergie, tandis que le travail négatif effectué par le frottement est irrévocablement perdu.

C'est le cylindre à vapeur lui-même qui se transforme en une pompe de compression, au moment où le mécanicien, en manœuvrant un déclanchement, engage la distribution de l'air, en supprimant celle de la vapeur.

Ce frein fonctionne du reste à Blantyre, moins en vue des accidents, que comme un moyen normal d'équilibre pour un puits à cage unique. On diminue ainsi le calibre de ce puits, comme dans le dispositif adopté à Montrambert (n° 813) ; on réduit de moitié l'irrégularité due à l'enroulement du câble, puisqu'il n'est plus accompagné d'un déroulement en sens inverse. Les travaux du poids mort s'équilibrent encore en théorie, puisque l'on retrouve en force motrice disponible, sous la forme d'air comprimé, l'énergie développée par la pesanteur pendant la descente de ce poids mort.

([1]) *The Engineer*, 18 février 1881, p. 120.

§ 4

CALCUL DU MOTEUR

826 — *Force en chevaux.* — Une machine d'extraction ne saurait élever le minerai d'une manière continue pendant vingt-quatre heures par jour. Outre un intervalle nécessaire pour l'entretien et les réparations, il faut défalquer le temps de la descente et de la sortie des hommes par le câble, ainsi que celui de l'épuisement par les cages à eau, lorsque ces deux fonctions sont effectuées par le moteur d'extraction. La durée du trait proprement dit est donc souvent réduite à 8 ou 10 heures, 12 ou 16 au maximum.

Désignons par n le nombre d'heures *effectivement* employées chaque jour *au mouvement du minerai*, défalcation faite des temps perdus par la manœuvre des recettes. Soient également K le nombre de tonnes extraites, H la profondeur du puits, et, par conséquent, 1000 KH le nombre total de kilogrammètres. On peut admettre, comme rendement d'une semblable machine, établie dans de bonnes conditions, le coefficient $\frac{3}{4}$. Nous devrons donc adopter pour la valeur du travail à développer chaque jour sur le piston à vapeur :

$$\frac{4}{3}.1000.KH,$$

ce qui correspond, comme force en chevaux, à :

$$\frac{\frac{4}{3}.1000.KH}{n.60.60.75},$$

c'est-à-dire, en effectuant :

$$0{,}00493\,\frac{KH}{n},$$

ou, en nombres ronds :

$$(1) \qquad \frac{KH}{200n}.$$

Mais ce résultat ne peut être considéré que comme une limite inférieure, car les premiers instants de l'enlevage nécessitent, pour créer la vitesse, une force supérieure à cet effort moyen. On devra donc ajouter au chiffre précédent un appoint arbitraire, suivant la rapidité que l'on veut imprimer à la mise en train.

827 — Cette évaluation peut également se faire à l'aide d'éléments équivalents, quant au fond, mais en suivant une marche un peu différente, en la forme.

Remarquons, à cet effet, que, du commencement à la fin d'une cordée, les poids morts sont échangés entre eux, ainsi que les câbles ; mais, en définitive, nous retrouvons des poids égaux dans des situations semblables. Il n'y a donc de travail finalement développé, que pour effectuer l'élévation du poids utile Q, et vaincre les résistances passives. Si nous appelons v la vitesse moyenne d'ascension dans le puits, le travail moyen par unité de temps sera théoriquement Qv. Pour tenir compte des résistances passives, nous admettrons, comme tout à l'heure, le coefficient de rendement $\frac{3}{4}$, que comportent expérimentalement les machines d'extraction bien établies. Le travail à fournir réellement par unité de temps sera, d'après cela :

$$\frac{4}{3} Qv,$$

et, par conséquent, la force en chevaux nominaux :

$$\frac{4Qv}{3.75},$$

c'est-à-dire, en effectuant :

$$(2) \qquad 0{,}0178\, Qv.$$

Cette évaluation ne doit être du reste considérée que comme un aperçu. En effet, d'une part la vitesse d'ascension est variable, lors même que nous nous restreignons à la phase de rotation uniforme de l'arbre des bobines, puisque le rayon d'enroulement va en croissant. Il faut donc que la machine soit capable, non seulement d'entretenir une moyenne de vitesse égale à v, mais de communiquer à l'allure du minerai cette progression croissante. Cependant le résultat (2) ne cesse pas pour cela d'être satisfaisant, en raison d'une variation complémentaire que subit en même temps le second facteur. En effet, par les modifications de longueur du câble, la force va en diminuant, loin de garder la valeur constante Q. On sait que pour une vitesse angulaire constante de l'arbre des bobines, le travail s'évalue d'après le moment. Or nous avons reconnu (n° 795, note) à quel point celui-ci approche de l'invariabilité. La formule (2) peut donc être considérée comme suffisante, pour la phase de rotation uniforme.

Mais, en second lieu, il restera à créer la vitesse de rotation, lorsqu'elle n'existe pas encore, ce qui conduit à amplifier, dans une mesure arbitraire, le résultat, suivant la vivacité de l'attaque que l'on compte imprimer au départ.

828 — *Volume du cylindre.* — En ce qui concerne le cylindre, nous avons vu (n° 811) qu'il doit être calculé ***sans équilibre***. Nous réunirons donc par la pensée le poids utile Q, le poids mort q et celui χH du câble. Rappelons, du reste, que cette somme prend la forme très simple :

$$Q + q + \chi H = \chi\eta,$$

(n° 799, éq. 32), si l'on désigne par η le multiple du poids de l'unité de longueur du câble, que l'on a adopté pour exprimer sa tension au point le plus haut, et dont le choix, dicté par la prudence, a présidé à l'établissement du projet de ce câble ([1]). Dans ces conditions, le moment à vaincre pour l'enlevage est théoriquement

([1]) Nous avons vu (n°s 725, 727, 728) quelles valeurs on peut sagement accepter pour η, suivant que l'on emploie les textiles, le fer ou l'acier.

$\chi\eta Y_{-N}$, car c'est uniquement au départ, avec le rayon initial Y_{-N}, que l'on peut avoir besoin d'attaquer avec cette force totale. Plus tard, en même temps que le rayon augmente, le poids diminue corrélativement par l'enroulement du câble.

Mais il y a, en outre, à tenir compte des résistances passives. Or nous avons admis déjà le rendement dynamique $\frac{3}{4}$. Sauf celle de l'air, les diverses résistances restent les mêmes à l'état statique que dans le mouvement. Nous pouvons donc, assez convenablement, accepter, pour la valeur effective du moment à vaincre :

$$\frac{4}{3}\chi\eta Y_{-N},$$

puisque la condition d'équilibre d'un système à liaison complète s'exprime précisément par l'équation des travaux, évalués dans l'unique mouvement compatible avec les liaisons.

Mais, d'ailleurs, nous ne nous bornons par la pensée à un seul cylindre, qu'en vue du cas où le second se trouvera au point mort. La position du premier correspond donc alors (sauf l'effet négligeable de l'obliquité de la bielle) à son maximum d'action. Cela revient à dire que l'effort imprimé sur le piston agit avec un bras de levier égal à la manivelle, c'est-à-dire à $\frac{l}{2}$, si l désigne la course du piston. Cette force sera exprimée par $10000\,kA$, en appelant A la section du piston et k le timbre de la chaudière, ou la valeur de la pression effective en kilogrammes par centimètre carré. Le moment moteur sera d'après cela :

$$10000\,kA.\frac{l}{2},$$

c'est-à-dire :

$$5000\,kV,$$

si V désigne le volume engendré.

Finalement donc, nous poserons l'égalité :

$$\frac{4}{3}\chi\eta Y_{-N} = 5000\,kV,$$

d'où l'on déduit pour le volume engendré :

$$(3) \qquad V = \frac{\chi\eta Y_{-N}}{3750}.$$

829 — *Dimensions du cylindre.* — L'allure des cages variant avec le rayon d'enroulement, nous avons vu que leur vitesse moyenne v correspond au rayon R de la rencontre (nº 789, éq. 11), c'est-à-dire à un déroulement égal à πR pour une course *simple* du piston. Si donc w marque la vitesse *moyenne* de ce dernier, déduite du nombre de coups doubles et de la valeur de la course, w correspondra à la longueur l parcourue pendant le même temps, et l'on aura la proportion :

$$\frac{v}{w} = \frac{\pi R}{l},$$

d'où l'on déduit la course :

$$(4) \qquad l = \frac{\pi R w}{v}.$$

On connaîtra dès lors le diamètre d du cylindre par la relation :

$$V = \frac{\pi}{4}\,ld^2,$$

$$d = \frac{2}{\sqrt{\pi}}\sqrt{\frac{V}{l}},$$

c'est-à-dire (4) :

$$(5) \qquad d = \frac{2}{\pi}\sqrt{\frac{Vv}{Rw}}.$$

830 — *Nombre de tours.* — Souvent, au lieu de donner directement la vitesse moyenne linéaire w du piston, on fait connaître le nombre de tours m par *minute*. C'est une donnée équivalente, qu'il est facile de rattacher à la précédente.

En effet, si l'arbre fait m tours par minute, ou $\frac{m}{60}$ par seconde, le piston parcourt un même nombre de fois la double course $2l$, c'est-à-dire le chemin total $\frac{ml}{30}$. Or ce chemin définit précisément la vitesse moyenne. On a donc :

$$w = \frac{ml}{30},$$

d'où l'on déduit inversement :

$$m = \frac{30w}{l}.$$

La connaissance du nombre m de révolutions par minute et celle du nombre de chevaux déterminent le travail effectif à fournir par tour, ou par cylindrée. Comme nous possédons de plus le volume V de chacun des cylindres et le timbre k de la chaudière, les formules de la théorie générale de la machine à vapeur permettront d'en déduire le degré de détente à employer, ou, si l'on veut marcher en pleine pression, l'étranglement à effectuer sur la vapeur fournie par le générateur. De cette manière, on conciliera les exigences d'ordre statique et d'ordre dynamique, auxquelles la machine doit pouvoir satisfaire.

831 — *Éléments numériques.* — Ces divers éléments doivent d'ailleurs rester renfermés entre des limites que la pratique a consacrées, et dont il y aurait souvent inconvénient à s'écarter sensiblement. Si donc, dans l'établissement d'un projet, quelqu'un des résultats du calcul arrivait à les franchir d'une manière notable, il conviendrait d'en remanier les éléments, en modifiant par tâtonnement les arbitraires, jusqu'à ce que toutes les valeurs à la fois fussent convenablement acceptables.

La course l du piston reste comprise entre 1 et 2 mètres, plus près, en général, de la limite inférieure que de l'autre.

La valeur du diamètre d s'étend de $0^m,50$ à 1 mètre.

La vitesse moyenne w du piston varie très peu, et se maintient entre $1^m,30$ et $1^m,50$.

La vitesse v, très modérée pour les bennes non guidées, est alors restreinte entre 1 mètre et $1^m,50$. Elle varie ordinairement de 4 à 8 mètres pour les cages guidées, et a même été poussée jusqu'à 12 et 15 mètres. On marche couramment en Angleterre à raison de 10 mètres par seconde [1]. On peut dire d'ailleurs, d'une manière générale, qu'il est plus rationnel de mener vite de petites charges que de manœuvrer lentement de lourds enlevages. On arrive, par ce moyen, à effectuer le service avec de moindres poids morts, et, comme conséquence, avec des câbles moins dispendieux et moins fatigués.

Le nombre 2N de tours reste ordinairement compris entre 15 et 30, bien qu'on l'ait poussé jusqu'à 75.

La force en chevaux ne comporte, pour ainsi dire, pas de minimum. On l'a d'ailleurs poussée souvent à plusieurs centaines de chevaux. Il s'est même produit, sous ce rapport, des excès incroyables, dont nous avons donné ci-dessus un exemple (n° 812, note).

832 — Quant au tonnage, il est également des plus variables. On considère comme de petites extractions celles qui élèvent 150 à 200 tonnes par jour. On en rencontre fréquemment de 300 à 500 tonnes. On peut citer un certain nombre d'exemples de 1000 à 1200 tonnes utiles. En y comprenant l'eau, les hommes, les matériaux, on a réalisé très exceptionnellement des résultats de 1500 et 1600 tonnes, et même, paraît-il, à Newcastle, le chiffre exorbitant de 1750 tonnes.

Dans une juste mesure, la tendance actuelle au développement de la puissance des puits d'extraction est rationnelle, et bien en rapport avec l'emploi des tractions mécaniques. Mais il est permis de se

(1) A Rosebridge, la vitesse moyenne est de 15 mètres. Elle atteint, à l'instant du maximum, 26 mètres par seconde. (Maurice Luuyt, *Annales*, 8e, V, 74.)

demander, si l'on n'est pas sur le point de tomber, à cet égard, dans une grande exagération. Les doubles services d'extraction installés sur certains puits en augmentent démesurément les dimensions horizontales. D'autre part, avec un service unique trop surmené, on arrive à des vitesses vertigineuses qui ne sont pas sans danger. Enfin la trop grande concentration sur un petit nombre de puits, d'un tonnage exagéré, augmente l'influence des chômages déterminés par les moindres accidents, qui surviennent soit dans l'extraction verticale, soit dans les tractions mécaniques destinées à l'alimenter.

Je terminerai ces indications numériques par le tableau suivant [1] :

[1] Dressé à l'aide des documents insérés par M. Pernolet dans l'agenda-Dunod pour les mines (1882, 106 et 116).

DÉSIGNATION			HAUTEUR DU PUITS	POIDS SUSPENDU	CABLE				RAYON D'ENROULEMENT				DIAMÈTRE DES MOLETTES	VITESSE DES CAGES (par seconde)	MOTEUR		
MINES	DISTRICTS	PUITS			POIDS (par mètre courant)	LARGEUR	ÉPAISSEUR	SUBSTANCE	INITIAL	MOYEN	FINAL	TYPE			DIAMÈTRE	COURSE	PRESSION (par centimèt. carré)
			mèt.	kilogr.	kilogr.	mèt.	mèt.		mèt.	mèt.	mèt.		mèt.	mèt.	mèt.	mèt.	kilogr.
Wearmouth	Newcastle	»	532	6 000	10,80	0,150	0,025	Fer	3,19	»	»	Bobines	4,86	6,26	1,72	2,13	2,5
Marihaye	Liège	Pierre-Denis	450	5 300	10,00	0,270	0,040	Aloès	»	»	»	Bobines	3,00	»	0,80	1,80	4,5
Clifton Hall	Manchester	»	492	4 717	3,25	0,032	0,032	Fer	2,10	3,10	4,00	T. spir.	4,20	8,20	1,07	1,83	4,0
Anzin	Nord	Réussite	516	4 400	7,00	0,110	0,022	Fer	1,25	1,70	2,00	Bobines	3,00	6,45	0,60	1,80	4,5
Blanzy	Saône-et-Loire	Cinq-Sous	222	4 400	8,08	0,190	0,040	Aloès	»	2,25	»	Bobines	4,00	6,00	»	»	»
Forster Pit	Newcastle	»	205	3 950	7,86	0,133	0,021	Fer	3,31	»	»	Bobines	6,10	4,55	0,91	1,83	4,0
Commentry	Allier	12 Juillet	300	3 763	10,00	»	»	Aloès	»	2,00	»	Bobines	3,00	7,00	0,85	1,70	5,0
Montrambert	Loire	Marseille	175	2 800	7,78	»	»	Aloès	»	»	»	Bobines	1,80	1,20	0,50	1,20	4,0
Eisenbahnschacht	Sarrebrück	»	313	2 500	3,75	0,040	0,040	Fer	1,72	2,36	3,00	T. spir.	4,00	7,29	0,86	1,57	2,0
Lalle	Gard	Ste-Hortense	190	2 500	4,28	0,035	0,035	Fer	»	1,40	»	T. cyl.	3,00	1,00	0,50	1,00	3,0

CHAPITRE XXXV

EXTRACTION PNEUMATIQUE

—

§ 1

SIMPLE EFFET

883 — Le principe de l'extraction atmosphérique consiste à installer un tube d'un très gros diamètre, régnant dans toute la hauteur du puits, et à y opérer un certain degré de vide à l'aide d'une puissante machine pneumatique, de manière à *aspirer* un piston-cage, renfermant les objets qu'il s'agit d'élever au jour.

Cavé a réalisé le premier cette pensée simple et hardie, dans un puits de 2 mètres de diamètre, mais d'une hauteur très limitée, sous la forme d'un monte-charge. Cet appareil a récemment repris faveur dans les usines métallurgiques, notamment avec le système Airesom. En ce qui concerne l'extraction des mines [1], ce principe a été réalisé d'une manière magistrale par M. Zulma Blanchet, au puits Hottinguer d'Epinac, et cette remarquable création a fixé à bon droit l'attention des ingénieurs [2].

[1] M. Trautmann a proposé, en 1857, un système semblable à celui du chemin de fer atmosphérique de Saint-Germain, dont on aurait rendu vertical le dispositif. Il ne saurait soutenir la comparaison avec l'appareil Blanchet d'Epinac (Ponson, *Supplément du traité d'exploitation des mines de houille*, II, 262).

[2] Blanchet, *Annales*, 7ᵉ, XIV, 266. — *Bull. min.*, 2ᵉ, IV, 557 ; VII, 273. — *CRM*, janvier 1877, 20. — *Écho industriel*, 15 août 1878. — *Bull. Soc. d'Enc.*, 3ᵉ, VI, 521.— *L'exploitation de la houille aux grandes profondeurs*, 1872, Autun. — *Suppression des câbles et du grisou et extraction à toute profondeur*, 1878. Paris, chez Chaix. — Worms de Romilly, *Annales*, 7ᵉ, V, 195. — *Zeitschrift BHS*, XXVII, 242. — *Œsterreichische Zeitschrift f. B. u. H.*, 1875, 26 ; 1879, 113.

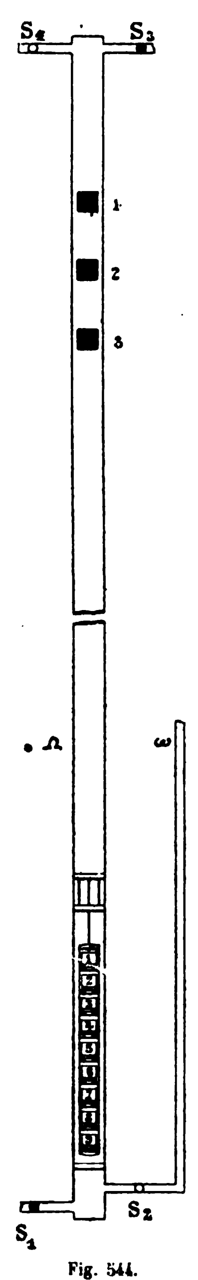


Fig. 544.
Extraction pneumatique à simple effet.
(Diagr. schématique.)

L'appareil peut être à simple ou à double effet. Dans le premier cas, un tube unique suffit pour l'extraction. Avec le second, deux tubes conjugués fonctionnent à la fois d'une manière corrélative. On obtient évidemment par là une activité plus grande, et nous reconnaîtrons également que l'on réalise une économie de travail. A la vérité, les frais de premier établissement prennent alors plus d'importance. Ce système, supérieur en principe au premier, n'a pas encore été réalisé effectivement, et le simple effet fonctionne seul à Epinac. On ne peut, du reste, qu'approuver cette marche prudente, destinée à permettre de soumettre le système à l'épreuve de l'expérience, avant d'augmenter les dépenses de premier établissement. Il est naturel également de reculer ce supplément de frais, jusqu'au moment où une plus grande activité de production de l'étage en préparation pourra nécessiter le doublement de l'appareil d'extraction.

834 — *Simple effet.* — Concevons un tube cylindrique de section Ω et de hauteur H (fig. 544). A la partie supérieure, se trouve la machine pneumatique actionnée par un moteur à vapeur. Nous pouvons imaginer que l'on réduise le volume total engendré dans une course simple par l'ensemble des pistons de ses divers cylindres, à la forme hypothétique d'un prolongement du tube lui-même, sur une longueur l qui serait parcourue par un piston pneumatique fictif. Les nécessités de l'installation exigeront d'ailleurs, entre l'orifice du puits et l'emplacement effectif des cylindres pneumatiques, des communications, dont le volume pourrait, de son côté, être représenté sous cette même forme

d'un tronçon additionnel du tube Ω. De cette manière, il serait aisé d'en introduire l'influence dans les calculs qui vont suivre. Mais, pour plus de simplicité, nous ferons abstraction de cet *espace nuisible.*

Un second tube plus petit, de section ω, est dressé auprès du premier. Il sert à évacuer au dehors l'air vicié de la mine, qui est amené par un maillage au pied du puits, et sollicité par le jeu de l'extraction de la manière qui sera indiquée dans un instant.

Concevons enfin l'existence de quatre soupapes, à savoir : deux à la base : S_1 et S_2, qui établissent ou suppriment la communication du tube d'extraction, soit avec le retour d'air, soit avec le tuyau d'évacuation, et deux autres à la partie supérieure : S_3 et S_4, mettant en relation ce même tube d'extraction avec la machine pneumatique ou avec l'atmosphère extérieure.

Dans la manœuvre *directe*, les cages renfermant des wagonnets pleins de houille, la machine détermine, à l'aide de la soupape S_3, un certain degré de vide au-dessus du piston d'extraction, et celui-ci s'élève, tandis que l'espace qu'il engendre dans ce mouvement d'ascension se remplit, au-dessous de lui, d'air de la mine admis par le clapet S_1.

Dans la manœuvre *rétrograde*, la soupape S_4 laisse rentrer l'air extérieur au-dessus du piston, en comblant le vide produit par sa descente, tandis que ce mouvement refoule dans le tuyau d'évacuation ω, à travers la valve S_2, l'air vicié qui vient de s'introduire dans le tube d'extraction Ω pendant la course directe ; après quoi, tout recommence. Mais ces deux périodes principales se subdivisent à leur tour, d'une manière qu'il importe d'examiner attentivement.

835 — *Manœuvre directe.* — La manœuvre directe comprend deux phases distinctes, de *raréfaction* et d'*avalement*. Il est bien évident, en effet, que ce ne sera pas le premier coup de piston de la machine pneumatique qui enlèvera de dessus ses clichages la cage chargée. Celle-ci ne pourra quitter son point d'appui, qu'après que l'on aura extrait une quantité d'air suffisante, pour que la dépression ainsi créée dans le volume entier du tube fasse équilibre à son poids.

Pour l'évaluer, désignons par p la pression atmosphérique et par p' la tension d'équilibre, par Q et q le poids utile et le poids mort, enfin par F le frottement que développe le piston contre les parois. On devra avoir, pour soutenir librement la cage dans le tube, l'égalité :

$$(1) \qquad (p-p')\,\Omega = Q+q+F,$$

d'où l'on déduit :

$$(2) \qquad p' = p - \frac{Q+q+F}{\Omega}.$$

Telle est la pression préparatoire, à laquelle la période de raréfaction doit amener le gaz au-dessus de la cage.

Il est facile de calculer le nombre n' de coups doubles de piston, qu'il sera, pour cela, nécessaire de donner. En effet, à chaque course aspirante, le volume ΩH du tube s'augmente de celui Ωl de la machine. La détente de l'air s'effectue donc d'après le rapport des volumes ΩH et $\Omega\,(H+l)$. Par conséquent, d'après la loi de Mariotte, la pression diminue dans la proportion inverse. Ce rapport restant d'ailleurs le même à chaque coup, la tension décroîtra en progression géométrique, et aura pour expression, au bout de n' coups :

$$p' = p\left(\frac{H}{H+l}\right)^{n'}.$$

On tire de là :

$$(3) \qquad n' = \frac{\operatorname{Log}\dfrac{p'}{p}}{\operatorname{Log}\dfrac{H}{H+l}},$$

formule dans laquelle il suffira de rendre à p' sa valeur (2).

836 — C'est alors seulement que commence l'ascension, c'est-à-dire la période d'*avalement*, par la machine, de l'air restant, lequel doit céder progressivement la place pour le parcours du

piston-cage. Le moteur devra, pour cela, exécuter un nombre n'' de nouveaux coups doubles, tel que les n'' courses simples aspirantes arrivent à vider la totalité du tube, ou que l'on ait :

$$n''\Omega l = \Omega H,$$

d'où :

$$n'' = \frac{H}{l}. \qquad (4)$$

A chaque coup de piston, en effet, la cage s'élève d'une quantité l, puisqu'une quantité Ωl d'air entre dans la machine sans changer de pression [1], celle-ci restant rigoureusement constante pour soutenir en suspension l'enlevage qui a un poids invariable.

On voit que la vitesse d'ascension sera en raison de l'allure du moteur, et en même temps de la longueur l, qui est, de son côté, proportionnelle au volume de la machine, et en raison inverse de la section Ω du tube d'ascension.

En même temps, la puissance de l'enlevage $Q+q$ est (1), sauf l'influence du frottement, en raison composée de cette section et de la dépression déterminée par le moteur.

837 — *Manœuvre rétrograde.* — Passons maintenant à la manœuvre inverse. Elle se compose, comme la précédente, de deux périodes : l'une préparatoire, pour mettre au point la pression, et l'autre, pour la descente effective.

Le système vient de parvenir à la partie supérieure. On l'a fixé avec des clichages, qui l'empêchent à la fois de monter et de descendre. Des portes s'ouvrent. On sort les wagons pleins. On les remplace par des chariots vides, et l'on referme les portières. La charge se trouve ainsi allégée et réduite au poids mort q. Le frottement, que nous représenterons par F' dans ces nouvelles conditions, a changé de sens. La résultante, dirigée vers le bas, a donc pour valeur $q - F'$.

[1] De là un moyen très simple de juger, dans la chambre des machines, de la succession des deux périodes, suivant que la pression indiquée par les manomètres décroît ou reste stationnaire, pendant la marche du moteur.

Cette force, moins grande que la précédente, n'a plus besoin du même degré de dépression $p-p'$ pour la tenir en équilibre, mais seulement d'une différence moindre $p-p''$, en supposant :

$$p'' > p'.$$

On l'évaluera par la relation :

$$(p-p'')\Omega = q - F',$$

qui donne :

$$p'' = p - \frac{q-F'}{\Omega}. \quad (5)$$

Il faut donc, avant tout, combler en partie le vide supérieur, sans quoi la cage allégée s'y précipiterait, quand on effacerait le clichage. On aura, pour cela, à restituer un degré de pression égal à :

$$p'' - p' = \frac{Q+F+F'}{\Omega}. \quad (6)$$

C'est l'objet de ce que nous appellerons la période *préparatoire*. On l'obtiendra simplement, en ouvrant progressivement la soupape S_4 de rentrée de l'air extérieur, de manière à relever la pression dans l'espace nuisible compris entre la cage et la machine. Comme, d'ailleurs, nous avons, dans tous les calculs, fait abstraction de l'influence de cet espace, nous pourrons considérer cette phase comme sensiblement instantanée.

838 — La *descente* s'opérera ensuite par le seul fait de l'ouverture graduée du même clapet S_4, qui a la forme d'une clef tournante, et que l'on règle à la main, de manière à rendre ce mouvement plus ou moins rapide. On peut même, à chaque instant, s'en rendre maître en refermant entièrement S_4. Alors, en effet, l'air extérieur ne pouvant plus rentrer, la cage ne s'aurait s'abaisser davantage, sans diminuer, d'après la loi de Mariotte, la pression au-dessous de

la valeur actuelle p'' qui la tient en équilibre. Par conséquent, après quelques oscillations dues à l'extinction de la force vive acquise, elle restera suspendue. La vitesse de descente peut ainsi être considérée comme une arbitraire pure et simple.

Mais il n'en est pas de même de la vitesse de sortie de l'air vicié, qui est une conséquence immédiate de la précédente. Le mouvement de la cage le refoule au jour par le clapet S_2 et le tuyau d'évacuation ω. Lorsqu'un volume V d'air *extérieur*, pris à la pression p, rentre par la soupape S_1, il vient occuper dans le tube un volume plus grand V'', en subissant une expansion qui l'amène à la pression p'', maintenue rigoureusement constante par l'équilibre de la cage suspendue. La loi de Mariotte donne pour cette transformation :

$$pV = p''V''.$$

La cage s'abaisse, d'après cela, d'une hauteur Y déterminée par la formule :

$$\Omega Y = V'',$$

$$Y = \frac{V''}{\Omega} = \frac{V}{\Omega}\frac{p}{p''}.$$

En même temps, l'air vicié qui remplit le tube Ω au-dessous de la cage, et qui s'y trouve à la pression barométrique p, puisqu'il y a communication libre avec la mine, et de là avec la surface, s'écoule par le tuyau ω sans changer de volume. Il y occupe donc un espace égal au volume V'' engendré par la descente de la cage, pour loger au-dessus d'elle le fluide raréfié qu'elle y appelle du dehors. L'air chaud formera, d'après cela, dans le tuyau d'évacuation ω, une colonne dont la hauteur y sera déterminée par la relation :

$$\omega y = V'' = \Omega Y,$$

d'où l'expression :

$$\frac{y}{Y} = \frac{\Omega}{\omega}.$$

du rapport des vitesses du vent à la sortie et de la descente de la cage.

839 — Nous venons de suivre pas à pas toutes les circonstances de la *première* manœuvre complète. A partir de ce moment, l'appareil sera *amorcé*, et toutes les courses suivantes seront identiques entre elles, mais non avec la première.

Il y aura, en effet, cette différence, qu'à l'origine le tube était rempli d'air atmosphérique, à la pression p, tandis que nous le retrouvons maintenant plein d'air à la tension p'', lorsque se termine la descente de la cage. La nouvelle ascension exigeant d'ailleurs toujours la même pression d'équilibre p', on n'a plus, pour la réaliser, à créer comme la première fois la dépression $p - p'$, mais seulement $p'' - p'$. Par suite, le nombre de coups de piston ne sera plus celui n' qui a été calculé ci-dessus (3). La nouvelle valeur n_1' s'évaluera par une formule toute semblable, dans laquelle, seulement, on remplacera p par p'' :

$$(8) \qquad n_1' = \frac{\text{Log}\,\frac{p'}{p''}}{\text{Log}\,\frac{\text{H}}{\text{H}+l}},$$

expression dans laquelle il suffit de substituer les deux valeurs (2) et (5).

Dans ces conditions, l'équation (3) perd maintenant tout intérêt, car la première manœuvre ne présente, dans l'ensemble, aucune importance, et ce qu'il est, au contraire, utile d'envisager est le régime courant, représenté par la formule (8) que nous devrons lui substituer dorénavant [1].

[1] Ces phénomènes complexes sont, au fond, beaucoup plus rapprochés du mécanisme de l'extraction ordinaire qu'il ne le semble au premier abord; et la comparaison suivante, malgré son caractère abstrait, pourra servir à éclaircir encore les idées à cet égard.

Imaginons, en effet, un câble, suffisamment résistant pour ne pas rompre, mais excessivement extensible, comme l'est par exemple le caoutchouc, afin de bien mettre en évidence, par ses allongements, l'état élastique de sa tension intérieure.

Dès le premier instant où le mécanicien mettra la bobine en action, le câble commencera à s'allonger sans que la cage s'ébranle, et cette préparation continuera, jusqu'à ce que la tension croissante, qui résulte de cet allongement, devienne égale au poids de

840 — *Force en chevaux.* — Pour compléter cette étude de l'appareil à simple effet, évaluons maintenant le travail dépensé dans cette opération, et la puissance qu'il sera nécessaire de donner au moteur chargé de l'accomplir.

Il importe, tout d'abord, de remarquer que cet organe sert tout à la fois à l'extraction, et, dans une certaine mesure, à la ventilation de la mine, puisqu'il contribue à en faire sortir des masses gazeuses importantes. Il y aura donc, à cet égard, une certaine dose de travail à fournir pour vaincre les ***résistances passives*** du parcours de l'air à travers les travaux, depuis son point d'entrée à partir de la surface, en obéissant à l'appel ainsi exercé au pied du puits, jusqu'au point d'évacuation. Mais aucun travail *théorique* ne sera indispensable, car il n'y a finalement aucun changement de volume. La première évaluation se rapporte à un ordre de considérations que nous n'aborderons que dans la septième partie de ce Cours, et elle fournira un appoint à adjoindre au travail d'extraction, dont nous avons uniquement à nous occuper en ce moment.

l'enlevage. — C'est l'équivalent de la phase de raréfaction de l'appareil Blanchet, et le moteur ne travaille encore que pour la mise en tension du câble.

Celui-ci se trouvant enfin suffisamment tendu, si l'on continue à l'enrouler sur les bobines, la cage le suivra, et avec une vitesse rigoureusement égale. — Cet intervalle correspond à la période d'avalement, et le moteur développe alors l'énergie nécessaire pour vaincre le travail de la pesanteur.

La cage étant parvenue au sommet, céderait à l'excédent de tension du câble au moment où on l'allégera de son chargement, si elle n'était arrêtée par un clichage supérieur. Il faut donc, avant de supprimer cet obstacle, que le mécanicien mette sa machine à la marche en arrière, et tourne jusqu'à ce qu'il ait cédé assez de câble, pour réduire la tension à celle qui est capable de supporter la cage vide. Jusque-là, celle-ci restera plaquée sous le clichage, et elle ne commencera à flotter qu'à partir de cet instant. — C'est la période de réparation de la pression par la rentrée d'air extérieur, à travers le clapet que l'on manœuvre à la main.

Si le mécanicien continue alors sa marche en arrière, la cage descendra de quantités exactement égales au déroulement du câble. — C'est la période de descente du piston, proportionnellement aux quantités d'air rentrées.

Lorsque l'on arrive au fond, le câble reste encore tendu, mais il est impuissant à enlever de nouveau la cage, après qu'on l'a rechargée. Il faut, pour cela, que le mécanicien effectue un nouveau travail préparatoire, pour lui communiquer préalablement le supplément de tension nécessaire. Seulement, cette phase diffère de la première de celles que nous venons de décrire, en ce qu'il fallait alors modifier la substance du câble à partir de son état naturel, tandis que pour cette seconde course, de même que pour toutes celles qui lui succéderont, on la reprend à l'état correspondant à la fin de l'excursion précédente. — C'est la même différence que celle que nous venons de signaler, pour l'extraction pneumatique, entre le premier enlevage et les courses subséquentes.

En ce qui concerne le poids mort q, il n'est l'occasion d'aucun travail effectif du fait de la pesanteur, puisqu'il monte et redescend successivement de la même quantité [1].

Quant au poids Q de la houille, il reste définitivement au niveau supérieur, et, par suite, son élévation nécessite la production de la quantité de travail :

$$(9) \qquad QH.$$

Il faut, en outre, vaincre les frottements F et F′ qui s'exercent l'un et l'autre sur la hauteur totale, et toujours dans le sens résistant, d'où la dépense de travail :

$$(10) \qquad (F + F')\,H.$$

841 — Quant aux travaux dont la masse gazeuse est le siège, nous les évaluerons de la manière suivante. Concevons, à cet effet, que le tube Ω se prolonge indéfiniment au-dessus du sol, et qu'un piston pneumatique s'y meuve sous l'empire du moteur. Relevons par la pensée ce piston d'une hauteur telle que la pression, qui était p'', s'abaisse à p'. En second lieu, montons-le encore d'une hauteur H. Il sera, pendant ce nouveau parcours, exactement suivi par la cage, qui s'élèvera ainsi du fond au jour. Il n'y aura plus, dès lors, qu'à ramener également le piston pneumatique à la surface, en vue de la course suivante. Cela revient à expulser au

[1] Le mécanisme par lequel s'effectue cette compensation dans la machine, ne s'aperçoit pas immédiatement et mérite d'être mis en lumière.

Le moteur commence par produire le travail qH, pour faire parvenir le poids q au sommet du tube. Le travail égal, spontanément développé par la pesanteur pendant la descente, s'emploie à étirer l'air extérieur à travers les orifices de la clef tournante S_4, calibrés attentivement de manière à régler la vitesse du poids mort, suspendu sur la pression p'' qui ne saurait varier, puisqu'elle soutient librement la cage. Au moment où celle-ci arrive en bas, on a soin de refermer les carnets, sans quoi l'air, continuant à affluer du dehors, aurait bientôt achevé de combler le vide, en rétablissant dans le tube la pression p. Le moteur aurait alors à le reprendre à cet état pour commencer par le raréfier à la pression p'', puis de ce point à la tension p'. Au contraire, avec le procédé précédent, on n'a plus à détendre que de p'' à p', en économisant le travail de la raréfaction de p à p''. Or cette quantité est bien égale à qH, car il n'y a pas eu d'autre cause mise en jeu, pour opérer cette transformation sur l'air appelé, du dehors, à remplir le tube à travers S_4, que la descente du poids q le long de la hauteur H.

dehors tout l'air contenu, ce qui se fera en trois opérations. En premier lieu, nous le comprimons de p' à p'', en second lieu de p'' à p, enfin nous le balayons au dehors sans nouveau changement de volume. Analysons cet ensemble de travaux exécutés sur la masse d'air.

Dans la dernière opération, comme pendant l'ascension de la cage, le volume reste immuable, soit à la pression p, soit à la tension p'. Il n'y a donc aucun travail à appliquer à la masse gazeuse pour sa déformation, et pas davantage pour sa translation, puisque, si, à la vérité, elle refoule l'atmosphère pour sortir sous l'empire du piston pneumatique, celui-ci supporte également la pression atmosphérique sur sa face postérieure, pour aider à ce refoulement.

Quant à la raréfaction initiale de p'' à p', elle se compense, dans le total des travaux, avec la compression ultérieure de p' à p''. En effet, nous admettrons, comme approximation parfaitement justifiée dans ce genre d'évaluations, que toutes ces modifications s'accomplissent suivant la même loi : celle de Mariotte. Dès lors, les deux travaux qui correspondent à ces changements d'état inverses, sont égaux et de signes contraires [1].

Il reste donc uniquement à envisager la compression, de p'' à p, d'une masse gazeuse qui, sous cette pression p'', occupe le volume ΩH du tube, car tel est l'état initial des opérations. Or on sait que, sous l'empire de la loi de Mariotte, cette compression exige le travail :

$$\Omega H p'' \text{ Log. népér. } \frac{p}{p''}.$$

ou, avec des logarithmes ordinaires :

$$(11) \qquad 2{,}3025\, \Omega H p'' \text{ Log } \frac{p}{p''}.$$

[1] On notera le soin avec lequel nous faisons remarquer que cette simplification repose uniquement sur l'hypothèse, très plausible, mais gratuite et seulement approximative, que les deux transformations inverses sont accomplies sous l'empire d'une seule et même relation entre la pression et le volume à chaque instant. On sait, en effet, que la thermodynamique a introduit dans les idées modernes cette réforme essentielle, que la quantité de travail, ou de chaleur, correspondante à un changement d'état, dépend,

842 — Si maintenant nous réunissons les expressions (9), (10), (11), nous obtiendrons, pour le travail *théorique* :

$$(12) \qquad T_1 = H\left(Q + F + F' + 2{,}3\,\Omega p'' \operatorname{Log} \frac{p}{p''}\right),$$

et il ne manquera à ce total que l'influence des résistances passives dans le moteur à vapeur et la pompe pneumatique, car, en ce qui concerne le tube, elles ont été déjà prises en considération par les termes F et F'. On peut convenablement admettre pour un appareil de cette nature, et d'une exécution aussi soignée que l'a été celui d'Epinac, un rendement égal à 3/4, comme pour les machines d'extraction ordinaires (n° 826). C'est donc par le coefficient 4/3 qu'il faudra multiplier l'expression (12), pour connaître la puissance *nominale* qui devra être fournie par le moteur dans une ascension.

Il est aisé d'en déduire sa force en chevaux φ_1. Il faut d'abord, pour cela, réduire à l'unité de temps, en divisant par la durée totale θ d'une opération, et ensuite à des chevaux-vapeur, en divisant par le coefficient 75, ce qui donne :

$$(13) \qquad \varphi_1 = \frac{4}{3 \times 75} \cdot \frac{H}{\theta}\left(Q + F + F' + 2{,}3\,\Omega p'' \operatorname{Log} \frac{p}{p''}\right).$$

Quant à θ, sa valeur sera la somme de trois termes, à savoir : 1° la durée θ_1 de la raréfaction :

$$(14) \qquad \theta_1 = n_1' \cdot \frac{2\lambda}{v},$$

en appelant λ la course des pistons pneumatiques réels, et v leur vitesse moyenne ; 2° celle θ_2 de l'avalement :

$$(15) \qquad \theta_2 = n'' \cdot \frac{2\lambda}{v};$$

non pas seulement de ses deux manières d'être extrêmes, mais, en outre, de toute la suite des valeurs intermédiaires. Cette série fournit la formule à intégrer, tandis que les états extrêmes n'assignent que les limites de l'intégration. Rien n'exige du reste, pour la compensation en question, que cette formule soit précisément celle de Mariotte.

3° enfin le temps θ_3 nécessaire pour les manœuvres des clichages, au jour et au fond. Remarquons toutefois, qu'au lieu de s'ajouter purement et simplement, le premier et le dernier de ces trois intervalles peuvent, si l'on veut, chevaucher l'un sur l'autre dans une certaine mesure, car rien n'empêche de commencer la raréfaction avant d'avoir complètement terminé les manœuvres des recettes.

§ 2

DOUBLE EFFET

843 — Avec le système à double effet (fig. 545), on dresse dans le puits deux tubes identiques, de section Ω, parcourus chacun par un piston-cage. Un seul tuyau ω peut suffire pour l'un et l'autre, en ce qui concerne l'évacuation de l'air de la mine à l'extérieur.

La différence essentielle entre ce mode et le précédent consiste en ce qu'au lieu de rejeter dans l'atmosphère l'air extrait du tube pendant la période d'avalement, et de laisser ensuite rentrer l'air atmosphérique au moment d'opérer la descente, on injecte dans le tube de la cage descendante, afin de remplir le vide laissé par ce mouvement,

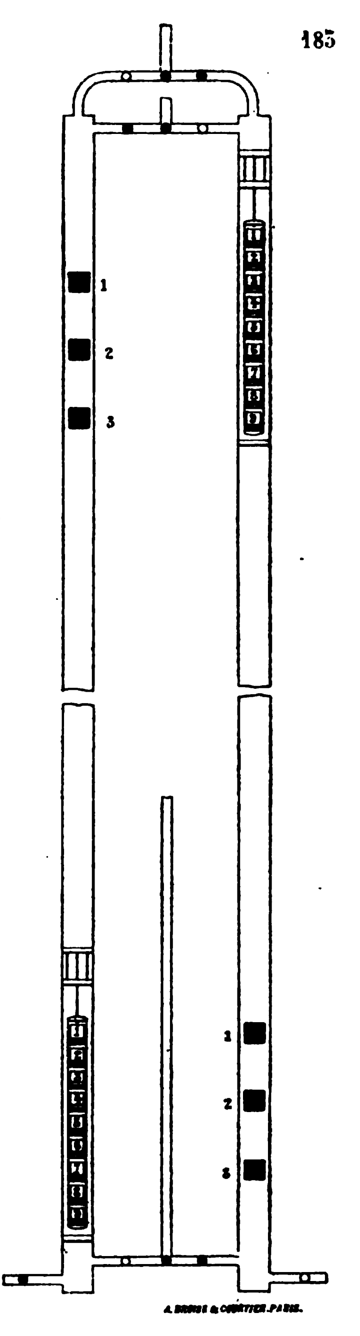


Fig. 545.
Extraction pneumatique à double effet.
(Diagramme schématique.)

le fluide que l'on prend au-dessus de la cage pleine, pour la forcer à monter. De cette manière, et sauf, bien entendu, à réparer les pertes secondaires, c'est toujours le même matelas d'air qui se trouve entre les deux pistons, et qui voyage sans cesse d'un tube à l'autre.

Cette simple circonstance apporte dans le mouvement des cages une modification importante. Nous n'avons plus maintenant à distinguer les deux courses, directe ou rétrograde, puisque chaque opération présente à la fois une descente et une montée, mais nous envisagerons trois phases dans l'ensemble de cette opération.

C'est, en premier lieu, la reconstitution de la pression p'' dans l'espace nuisible qui se trouve à la tension p', lorsque s'achève la montée de la cage pleine, et qu'il s'agit de la redescendre vide. Mais cette partie du phénomène sera, ainsi qu'il a été expliqué ci-dessus (n° 837), considérée comme sensiblement instantanée, puisque nous négligeons, dans ces calculs, l'influence de l'espace nuisible.

C'est, en second lieu, la raréfaction de l'enceinte située au-dessus de la cage que l'on vient de remplir, et qui se trouve en ce moment à bas, soumise à la tension de descente p'', tandis qu'il s'agit de ramener l'air à la pression p', pour effectuer la montée. Dès le premier coup de piston, la cage vide commence à descendre, sans quoi cette cylindrée, en s'accumulant au-dessus d'elle, y altérerait la pression p'', ce qui est impossible, puisque le piston-cage ne peut se soutenir que pour cette valeur de la tension. Il en sera de même à chacune des courses suivantes du moteur, mais la vitesse de descente décroîtra successivement. En effet, le déplacement de la cage est celui qui permet à l'air extrait du second tube d'acquérir la pression constante p''. Or ce gaz est pris par la machine pneumatique au-dessus de la cage pleine sous un volume constant Ωl, et à une pression incessamment décroissante, puisqu'elle est en train de tomber de p'' à p'.

La troisième phase prend naissance lorsque cette valeur p' est atteinte. A partir de ce moment, la cage chargée commence à s'élever, et la seconde conserve une vitesse constante de descente. En effet, l'air sera pris dorénavant à une pression fixe p', pour être refoulé à une autre pression invariable p''.

844 — Il est facile d'évaluer l'abaissement h que subit progressivement la cage vide, pendant la période de raréfaction. Il doit être tel, en effet, que, si l'on remontait artificiellement la cage pleine de cette même hauteur h, on reformerait au-dessus d'elle la pression p''. En effet, l'intervalle des cages qui, de H, était devenu $H + h$ en raison de cette descente progressive, reprendrait ainsi la valeur H, comme à l'instant initial, où la pression dans cette enceinte était égale à p''.

On peut donc écrire, d'après la loi de Mariotte :

$$Hp' = (H - h)\, p'',$$

d'où :

$$\frac{h}{H} = \frac{p'' - p'}{p''}, \qquad (16)$$

et, en substituant les valeurs (5) et (6) :

$$\frac{h}{H} = \frac{Q + F + F'}{\Omega p - q + F'}. \qquad (17)$$

Quant au rapport des vitesses des deux cages pendant l'ascension, on l'exprime indifféremment par celui des chemins parcourus :

$$\frac{H - h}{H},$$

ou par le rapport inverse des pressions :

$$\frac{p'}{p''},$$

puisque ces espaces sont décrits en raison du déplacement d'une même masse de gaz, d'une enceinte à l'autre, suivant la loi de Mariotte. Ces deux fractions sont, en effet, égales d'après l'équa-

tion (16); et, si l'on y substitue la valeur (17), elles prennent la forme définitive :

$$(18) \qquad \frac{\Omega p - Q - q - F}{\Omega p - q + F'}.$$

845 — Le travail moteur T_2 s'évaluera par la méthode qui nous a déjà servi ci-dessus (n° 842), en tenant compte de cette différence que le gaz pris à la pression p', au lieu d'être rejeté dans l'atmosphère extérieure, est refoulé dans une enceinte à la pression p''. Il faut donc remplacer p par p'', et dès lors le terme (11) de la formule (12) s'évanouit, de telle sorte qu'il ne reste plus aucune trace du jeu des pressions, dans cette expression théorique du travail[1].

Elle se réduit ainsi à la forme :

$$(19) \qquad T_2 = H(Q+F+F').$$

Il en est de même pour la force *réelle* en chevaux (13), qui devient :

$$(20) \qquad \varphi_2 = \frac{4}{3\times 75}\cdot\frac{H}{\theta}(Q+F+F').$$

846 — De la comparaison des formules (12 et 13) avec (19 et 20), il ressort avec évidence un avantage important en faveur du double effet; à savoir, pour le *travail théorique par course :*

$$T_1 - T_2 = 2{,}3 H\Omega p'' \operatorname{Log}\frac{p}{p''},$$

et, pour la *force réelle en chevaux :*

$$\varphi_1 - \varphi_2 = \frac{4\times 2{,}3}{3\times 75}\cdot\frac{H\Omega p''}{\theta}\cdot \operatorname{Log}\frac{p}{p''}.$$

[1] On remarquera que la réduction qui s'opère ainsi par la disparition du terme relatif à la compression de l'air, est évidemment indépendante de la loi qui préside au phénomène, et que nous avons supposée, dans ce qui précède, être celle de Mariotte. En effet, ce terme est l'intégrale, prise entre les limites p'' et p, d'une certaine fonction variable avec la loi en question. Quand on vient à resserrer indéfiniment ces deux limites, en faisant $p = p''$, l'intégrale s'annule, quelle que soit la fonction.

Le rapport de cet écart aux valeurs concernant le double effet devient, d'après cela :

$$\frac{T_1 - T_2}{T_2} = \frac{\varphi_1 - \varphi_2}{\varphi_2} = 2{,}3\ \frac{\Omega p''}{Q + F + F'}\ \mathrm{Log}\ \frac{p}{p''},$$

ou, en rendant à p'' sa valeur (5) :

$$(21) \qquad 2{,}3\ \frac{\Omega p - q + F'}{Q + F + F'}\ \mathrm{Log}\ \frac{\Omega p}{\Omega p - q + F'}.$$

Telle est la caractéristique de l'avantage du double effet sur le simple effet, au point de vue de la dépense dynamique.

847 — M. Z. Blanchet a adopté comme données de son projet les valeurs suivantes, en vue de pouvoir pousser ultérieurement le réavalement du puits Hottinguer jusqu'aux plus grandes profondeurs [1]:

H	hauteur du puits	1 000,00	mètres.
Ω	section du tube.	2,00	mètres carrés.
Q	poids utile	4 500,00	kilogrammes.
q	poids mort { piston . . . . . . 1 575 ; cage . . . . 1 400 ; chariots . . . . . . 2 250 }	5 025,00	kilogrammes.
F	frottement à la montée	475,00	kilogrammes.
F'	frottement à la descente.	250,00	kilogrammes.
p	pression atmosphérique	10 000,00	kg par m. carré.
θ_3	durée des manœuvres	60,00	secondes.
A	section d'un des deux cylindres pneumatiques	10,00	mètres carrés.
λ	course des deux pistons pneumatiques réels.	1,80	mètre.
l	course du piston pneumatique unique fictif.	18,00	mètres.
v	vitesse moyenne des pistons réels	0,60	m. par seconde.

On en déduit les valeurs suivantes :

[1] Zulma Blanchet, Tube atmosphérique du puits Hottinguer (*Bull. min.*, 2ᵉ, IV, 565, 571).

Diamètre des tubes	$2\sqrt{\frac{\Omega}{\pi}}$	=	1,60	mètre.	
Enlevage total	$Q + q$	=	9 525,00	kilogrammes.	
Volume de chacun des deux cylindres pneumatiques	$A\lambda$	=	18,00	mètres cubes.	
Nombre de coups de piston de la raréfaction	n'_1	=	23,56		éq. (8).
Nombre de coups de piston de l'avalement	n''	=	55,55		éq. (4).
Durée de la raréfaction	θ_1	=	70,69	secondes	éq. (14).
Durée de l'avalement	θ_2	=	166,67	secondes	éq. (15).
Pression de l'ascension	p'	=	5 000,00	kg. par m. carré	éq. (2).
Pression de la descente	p''	=	7 612,50	kg. par m. carré	éq. (5).
Vitesse d'ascension	$\frac{H}{\theta_2}$	=	6,00	mètres par seconde.	
Travail réel du moteur à simple effet par course	$\frac{4}{3}T_1$	=	12 504 375,00	kilogrammètres	éq. (12).
Force réelle du moteur à simple effet	φ_1	=	748,00	chevaux	éq. (13).
Travail réel du moteur à double effet par course	$\frac{4}{3}T_2$	=	6 966 666,00	kilogrammètres	éq. (19).
Force réelle du moteur à double effet	φ_2	=	416,00	chevaux	éq. (20).
Effet utile	QH	=	4 500 000,00	kilogrammètres.	
Rendement en charbon élevé. Simple effet	...		0,36		
Rendement en charbon élevé. Double effet	...		0,64		
Rapport des rendements, à l'avantage du double effet	...		1,77		

On voit, par ce dernier chiffre, que l'avantage dû à l'emploi du double effet sur l'appareil à simple effet, serait des trois quarts en sus.

848 — L'influence des fuites et des rentrées d'air est de nature à modifier ces résultats, dans une mesure qu'il est impossible de fixer *a priori*. On peut seulement faire remarquer, à cet égard, qu'il y aura avantage à employer un grand diamètre pour le tube d'extraction. En effet, un défaut d'assemblage, caractérisé par une longueur déterminée suivant les génératrices, donnera lieu à une surface de fuite proportionnelle à la circonférence, et, par suite, au rayon lui-même, tandis que la masse gazeuse à laquelle vient se mélanger cette rentrée d'air est en raison de l'aire de cette section, c'est-à-dire du carré de ce rayon. Elle aura donc d'autant moins d'influence sur la pression que le diamètre acquerra plus d'importance.

Il y aura de même avantage à employer des cylindres d'un grand volume. En effet, à vitesse égale des pistons, la durée de l'opération sera alors moindre. Il en sera donc de même de la quantité totale d'air rentré, et, par conséquent, de l'influence qu'elle aura exercée sur le degré de vide.

§ 3

DESCRIPTION DE L'APPAREIL

849 — *Tube d'extraction.* — Le tube est formé (fig. 546) d'une tôle de 7 à 8 millimètres d'épaisseur, présentant un rayon de courbure de $0^{m},80$. Ses divers tronçons, ou *viroles*, ont 6 mètres de longueur. Ils sont réunis par des joints à brides garnis de caoutchouc, et des boulons. On y ajoute des couvre-joints, avec des rivets à tête fraisée. L'alésage n'a pas été nécessaire; après divers essais, le graissage avec l'huile Ragosine a permis au piston de passer sur les petites rugosités avec une étanchéité suffisante. L'ensemble du tube pèse 342 tonnes.

Il est supporté, de 3 en 3 mètres, par des moises analogues à celles

que l'on emploie pour les pompes. Toutefois, comme il est indispen-

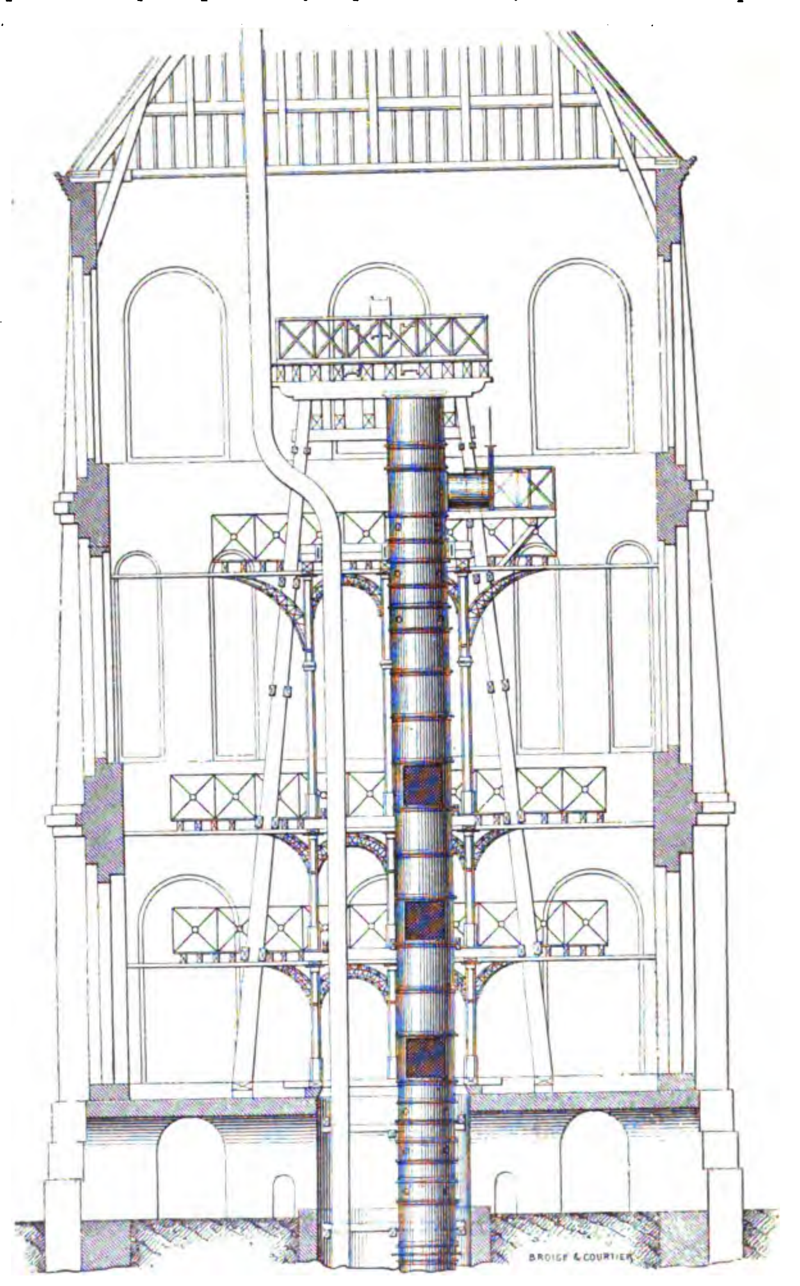


Fig. 546. Extraction pneumatique, système Z. Blanchet (recette supérieure).

sable d'éviter que les mouvements du terrain impriment la moindre déviation aux génératrices, on n'assujettit pas ces moises directement dans la roche. Elles sont prises entre des moises-porteuses, assemblées à la paroi, et entre lesquelles elles ont la liberté de glisser, pour se prêter aux tassements latéraux, tout en conservant la verticalité du tube.

850 — Au sommet et à la base, sont disposées les communications de l'intérieur avec l'extérieur. On les réalise au moyen de *viroles-portières*, de forme parallélipipédique. Sur deux faces opposées, afin que les wagons vides puissent sortir et les chariots pleins pénétrer à leur suite, se trouvent des portes à coulisse, équilibrées par des contrepoids dont les chaînes de suspension passent sur des poulies, pour permettre de soulever facilement ces cloisons et de les remettre en place. L'étanchéité est obtenue comme avec les glaces des tiroirs à vapeur.

Il existe trois viroles portières à la partie supérieure et trois autres au fond. On en aurait placé un nombre égal à chaque étage intermédiaire, s'il en existait. Ces trois viroles correspondent, à l'extérieur, à trois planchers de recette distincts, sur lesquels s'exécutent des manœuvres d'embarquement et de déchargement que nous décrirons dans le § 4.

851 — Pour pouvoir effectuer ces opérations, on associe aux viroles portières des *viroles à taquets*. Celles-ci sont munies de presse-étoupes, permettant le passage étanche de taquets, ou verroux, que l'on peut, du dehors, faire saillir dans l'intérieur, ou effacer dans la paroi, au moyen de leviers de manœuvre ordinaires.

Il existe, tant au fond qu'au jour, trois doubles jeux de taquets, avec six leviers de commande. Ces trois jeux servent à fixer la cage dans trois positions différentes, ainsi que nous le verrons tout à l'heure. De plus, chaque jeu est double, comme il vient d'être dit, afin que le cran de la cage se trouve saisi à la fois par-dessus et par-dessous, de manière à maintenir cette dernière en place, malgré les variations de pression qui peuvent se produire dans l'un ou l'autre

sens. L'espace laissé libre entre les deux taquets d'un même jeu est de trois centimètres.

852 — *Cage.* — La cage a été construite en acier, afin de réaliser plus de légèreté. Elle est établie comme à l'ordinaire, sauf sa forme ronde. La partie supérieure est formée de deux pistons reliés invariablement l'un à l'autre, de manière à conserver entre eux une distance supérieure à la hauteur des viroles portières. Celles-ci sont, en effet, à section rectangulaire, et le piston perd son étanchéité pendant qu'il les traverse. Il faut donc associer deux de ces organes, pour que l'un d'eux, au moins, se trouve toujours interposé, entre l'enlevage et la surface, dans une portion ronde du tube.

Sur le piston supérieur, est placé un tampon de choc à ressort, pour prévoir le cas où une manœuvre défectueuse amènerait le système mobile jusqu'aux arrêts fixes disposés dans le chevalement, en vue de limiter à coup sûr l'excursion.

Sous le piston inférieur, se trouve adapté un pivot, sur lequel est suspendu librement le corps de la cage proprement dite. De cette manière, si les rails de ses plateaux ne coïncident pas rigoureusement avec ceux de la recette, il est facile de lui imprimer à la main une légère rotation.

La cage est à neuf étages, destinés à recevoir un nombre égal de chariots. Ils sont associés par groupes, dans l'ordre suivant :

1 — 4 — 7 ; 2 — 5 — 8 ; 3 — 6 — 9.

Le déchargement des trois plateaux constituant un même groupe s'effectue simultanément aux trois niveaux de recette, et la manœuvre que nous décrirons dans le § 4 a pour effet d'amener successivement le premier, le second et le troisième de ces groupes à la coïncidence de leurs planchers respectifs avec ces niveaux de recette. Les trois doubles jeux de taquets serviront à cette destination, en arrêtant le cran de la cage dans les trois positions correspondantes.

Au-dessous de la cage, se trouve un dernier piston étanche. Théori-

quement, sa présence ne semble pas indispensable, puisque cette partie est toujours plongée dans l'air de la mine à la pression normale. Cependant cette fermeture est utile pour interrompre, en temps ordinaire, la communication, sauf à l'admettre, par l'intermédiaire d'un clapet, quand on le juge à propos. Ce piston remplit également l'office de parachute, comme nous le verrons plus loin, si une partie du système se détache des pistons supérieurs, ou que ceux-ci viennent à subir une avarie quelconque.

853 — *Moteur.* — La machine est à deux cylindres, couplés à angle droit sur l'arbre du volant. Chacun des pistons à vapeur commande directement celui d'un cylindre pneumatique, placé en prolongement, sur la même tige. Celle-ci se trouve supportée, dans l'intervalle des deux cylindres, par un large patin carré, mobile entre les coulisses d'une glissière horizontale, où il baigne dans l'huile. Un arrosage à l'eau froide empêche l'échauffement produit par la compression de l'air, pendant la période d'avalement destinée à le rejeter dans l'atmosphère.

La détente est réglée de manière que la puissance d'une cylindrée de vapeur soit exactement capable d'effectuer la compression du volume de l'un des cylindres pneumatiques, en portant la tension de p' à p. Par suite, tant que la pression, qui commence par la valeur p'', ne s'abaisse pas jusqu'à p', le moteur possède la force nécessaire; mais si cette tension venait à descendre au-dessous de p', le travail de la compression destinée à regagner p excédant la puissance de la machine, celle-ci ne pourrait vaincre l'obstacle, et s'arrêterait d'elle-même.

Si, pour augmenter le poids de l'enlevage, l'on voulait atteindre une tension p'_1 inférieure à p', il faudrait donc augmenter la puissance du moteur, en faisant varier la détente. La machine fonctionnerait alors jusqu'à cette pression p'_1, et s'y arrêterait encore d'elle-même. Si l'on imagine de même que l'on ait ainsi raccourci peu à peu la détente, jusqu'à la supprimer complètement et à marcher en pleine pression, la puissance du moteur deviendrait par là suffisante pour atteindre un certain degré limite p'_0, et, une fois la pression abaissée à ce point, il s'arrêterait de nouveau spontanément.

Le seul moyen pour dépasser encore ce degré, si cela devenait nécessaire pour un nouveau changement de l'enlevage, consisterait alors à remplacer les cylindres à vapeur par d'autres plus volumineux, ou les générateurs par d'autres, timbrés pour une pression supérieure. Cette dernière hypothèse est hors de toute probabilité, en raison de la largeur avec laquelle a été établi le projet du moteur; tandis qu'au contraire, une légère variation sur la pression p' peut être motivée par des variations fortuites et modérées de l'enlevage.

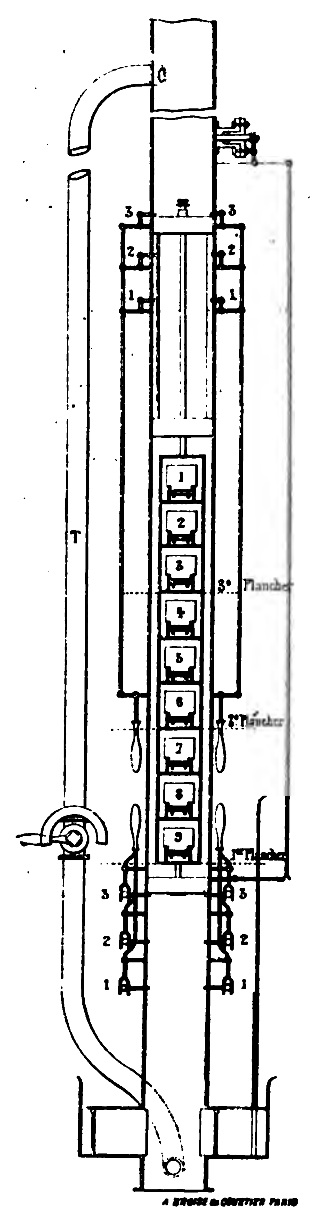


Fig. 547. Extraction pneumatique, système Z. Blanchet (recette inférieure).

854 — *Organes accessoires.* — A la partie supérieure, se trouve le clapet de rentrée d'air, que l'on règle pour la descente, à l'aide d'une clef tournante.

On dispose de même, à 4 mètres audessous de la position la plus inférieure que la cage soit appelée à occuper pendant les manœuvres, un verrou de sûreté, pour empêcher la chute du système en cas d'inadvertance, et le retenir à ce point. Le premier soin du receveur, avant de commencer ses opérations, doit être de fermer ce taquet, lorsque l'ascension l'a dépassé.

Des tubes, fermés par des vannes que l'on commande à la main, servent à faire communiquer la chambre qui est comprise entre la cage, arrivée à la recette supérieure, et le sommet du tube, fermé par un fond en cul-de-sac, tantôt avec l'atmosphère, tantôt avec la

machine pneumatique. Nous expliquerons, dans un instant, l'usage que l'on fait de ces organes pour les manœuvres.

855 — Au fond, un tube latéral T (fig. 547) permet d'établir la communication de la chambre comprise entre la base de la cage et les clapets S_1, S_2, supposés fermés, avec un point du tube d'extraction situé au-dessus du sommet de la cage, dans les positions qu'elle est appelée à prendre pour les manœuvres de cette recette inférieure.

Une sonnette sert à envoyer du fond les signaux destinés au mécanicien. Les avertissements adressés inversement, du jour à la recette inférieure, se font simplement au moyen de coups frappés sur le tube, qui conduit très nettement le son.

Des signaux automoteurs permettent au mécanicien de se rendre compte de la situation de la cage dans le tube. A cet effet, on a disposé dans ce dernier, de distance en distance, des tuyaux de communication avec une série de manomètres placés sous les yeux du machiniste. Ceux-ci marquent le vide, tant que la cage se trouve au-dessous du point d'insertion de leur tube. Ils remontent, au contraire, à la pression atmosphérique, dès qu'elle a dépassé ce niveau.

A une distance convenable de la recette, se trouve également un taquet, présentant, à l'intérieur du tube d'extraction, une saillie arrondie qu'un ressort maintient dans cette situation, sauf au moment du passage de la cage, qui le refoule en agissant sur une sonnette d'avertissement, pour annoncer définitivement l'arrivée de l'enlevage.

§ 4

DESCRIPTION DES MANŒUVRES

856 — *Manœuvres des recettes.* — Quand le moulineur du fond est averti par la cloche de l'approche de la cage, il sonne *halte* au jour, pour faire fermer définitivement le clapet S_4, à l'aide duquel a été jusque-là régularisée la vitesse de descente. Toute rentrée d'air étant dès lors supprimée, la cage se trouve arrêtée, et l'on s'arrange

de manière que ce soit au-dessous du débouché du tube de communication T dont il vient d'être question, mais au-dessus des viroles portières. Il s'agit dès lors d'amener avec précision, à leur niveau, le premier groupe de planchers 1, 4, 7.

A cet effet, la descente de la cage ferme automatiquement, par un renvoi approprié, le clapet S_2 qui fait communiquer la face inférieure de cette cage avec le tuyau d'évacuation ω. Quant à la soupape S_1, qui permet l'aspiration de l'air de la mine pendant l'ascension, elle s'est fermée d'elle-même, dès le commencement de la descente, qui tend à refouler cet air. On forme ainsi, au-dessous de la cage, une chambre close qui se trouve à la pression atmosphérique. Le moulineur ouvre alors avec précaution le tuyau T, qui établit la communication entre cet espace et la partie du tube d'extraction située au-dessus de la cage. Il diminue ainsi la pression dans cette enceinte, et fait descendre doucement la cage jusqu'au clichage.

Quand elle s'y trouve fixée, on ouvre les trois portières, et l'on opère l'échange des wagons vides contre des chariots pleins. La cage devient par là trop lourde pour la pression p'' qui avait servi à la descendre. Le moulineur sonne alors pour demander au mécanicien de la dépression, afin de soulever légèrement la cage et de pouvoir faire son clichage. Il abaisse ensuite le système, comme la première fois, dans les deux autres positions successivement, afin de desservir les planchers 2, 5, 8 et 3, 6, 9.

On opérerait de même en des accrochages intermédiaires, s'il en existait, en commençant par fermer le tube au-dessous de ce niveau au moyen d'un clapet, pour se procurer ainsi une chambre fermée d'une faible étendue, analogue à celle qui existe au fond.

Des opérations semblables auront encore lieu au jour, à l'aide des tubes dont j'ai parlé, qui sont destinés à faire extraire à volonté par le machiniste l'air de l'espace confiné au-dessus de la cage, ou à y laisser, au contraire, rentrer l'atmosphère extérieure. Ces deux influences opposées permettent de soulever ou d'abaisser la cage, pour exécuter les manœuvres du clichage.

857 — *Parachute.* — S'il se produit quelque avarie pendant la

course descendante, et qu'elle ait pour conséquence la chute rapide du système, balayant, par son piston inférieur, tout l'air qui se trouve au-dessous de lui, les receveurs du fond en seront avertis par le bruit du vent qui s'engouffrera dans le tuyau d'évacuation ω, d'une manière beaucoup plus intense qu'à l'ordinaire.

On fermera aussitôt le clapet S_2 qui permet cette communication. Comme d'ailleurs S_1 s'est trouvé fermé dès le début par le refoulement dû à la descente, la pression croîtra rapidement dans cet espace, dorénavant confiné, et deviendra capable de soutenir la cage, après quelques oscillations dues à la force vive acquise. On n'aura plus dès lors qu'à la descendre doucement, en laissant fuir progressivement, à travers le tuyau d'évacuation ω, l'air comprimé qui supporte l'enlevage.

Si le même effet se produit pendant la montée, le clapet S_2 a dû être fermé avant de commencer cette phase de l'opération. Quant à la soupape S_1 qui sert à l'aspiration, elle se referme immédiatement par le refoulement inverse qui prend naissance, et le résultat précédent se reproduira identiquement.

858 — Ces moyens de préservation ne pourraient donc être paralysés que par une désorganisation complète de la partie inférieure du tuyau lui-même. Quelque improbable que puisse être une telle éventualité, on peut encore mentionner à cet égard un parachute que M. Blanchet avait imaginé, en vue de ralentir la chute par un frottement suffisamment intense exercé contre les parois du tube.

Je me contenterai de dire que le principe de sa constitution consistait dans un appareil, que la vitesse de chute fait tournoyer sur lui-même, en développant des forces centrifuges qui aplatissent des ressorts et augmentent leurs pressions contre les parois. Cet appareil n'a du reste pas été réalisé, et son principe, un peu hardi, n'a pu être soumis à l'épreuve de l'expérience.

§ 5

AVANTAGES DE L'EXTRACTION PNEUMATIQUE

859 — M. Blanchet attend de sa remarquable création de nombreux avantages.

C'est, en premier lieu, la suppression radicale des obstacles dus à l'influence de la profondeur pour l'emploi des câbles. Nous avons vu, en effet, qu'elle imposait une limite absolue à l'usage du câble cylindrique, et que les moyens de la reculer par l'introduction de l'acier, ou de la supprimer par le principe des câbles diminués, introduisaient des difficultés d'une autre nature. Le système actuel ne rencontre théoriquement aucune limite.

Les dangers de rupture du câble sont supprimés, et la sécurité des hommes et du matériel paraît assurée par des garanties qui paraissent très rationnelles *a priori*, bien qu'il puisse être permis de réserver à cet égard la sanction d'une expérience prolongée.

L'appareil présente, pour les forts enlevages, une élasticité de puissance à peu près indéfinie, que l'on ne saurait évidemment demander à l'emploi des câbles.

La descente des remblais et des matériaux peut, avec une grande facilité, s'effectuer par la même voie que la sortie du charbon, les trains étant plus importants, moins subdivisés et moins nombreux qu'avec le système ordinaire.

L'économie des câbles constitue un bénéfice net, en ce qui concerne leur prix d'achat. Il allège, en outre, d'autant le poids mort, et diminue les résistances passives qui en sont la conséquence.

Ce procédé enferme tout le matériel de l'extraction dans le tube pneumatique, en laissant libre le reste du puits, de manière à permettre d'y installer des pompes, ou une circulation libre pour faire les réparations, ouvrir de nouveaux étages, et augmenter l'approfondissement, sans arrêter en aucune façon le service.

860 — L'extraction concourt en même temps, dans une certaine mesure, à l'aérage de la mine. A la vérité, c'est d'une manière

intermittente, ce qui doit faire restreindre l'appareil au simple rôle d'accessoire d'un système spécial de ventilation normale.

Il convient d'ajouter que son auteur se propose d'employer les énormes dépressions, que lui permet sa machine, pour effectuer l'*arrachage* du grisou hors du massif qu'il imprègne. Nous reconnaîtrons plus tard (nº 1070) que ce mode de purification soulève, en principe, les objections les plus graves. Mais il faut du moins reconnaître que, parmi les nombreuses propositions dont il a été l'objet, le système pneumatique présenterait, pour sa réalisation, si l'idée fondamentale était acceptable, une puissance de succion hors de comparaison avec les conditions ordinaires des ventilateurs de mines.

861 — Le prix d'établissement d'un tube de 603 mètres a été formulé par M. Blanchet de la manière suivante :

Tube et accessoires	316 610 fr.
Moisage	25 000
Moteur	135 000
	476 610 fr.

Comme point de comparaison, il évalue au chiffre suivant l'installation, pour la même hauteur, d'une extraction par câbles :

Guidage	50 000 fr.
Molettes	2 000
Moteur de 600 chevaux	80 000
	132 000 fr.

ce qui constituerait un excédent de 344 610 francs.

En revanche, les frais annuels sont estimés par M. Blanchet de la manière suivante :

Visite, graissage, entretien des tubes. . . .	2 000 fr.
1800 tonnes de charbon à 10 fr.	18 000
	20 000 fr.

et, pour le système ordinaire :

2 câbles de 750 mètres	18 480 fr.
Entretien du guidage	3 600
6 000 tonnes de charbon à 10 fr.	60 000
	82 080 fr.

d'où une économie annuelle de 62 080 francs, capable de permettre une rémunération, sur le pied de 18 pour 100, pour la somme immobilisée.

Toutefois, il est permis de penser que le chiffre élevé de ce capital constituera toujours un obstacle difficile à vaincre, pour la multiplication d'installations similaires. Il n'est que juste, cependant, de réserver à cet égard l'avenir, et, dans tous les cas, de rendre pleine justice à la remarquable réalisation, obtenue du premier coup par M. Z. Blanchet, pour cette conception hardie, sans tâtonnements ni fausses manœuvres.

CHAPITRE XXXVI

MOYENS DIVERS D'EXTRACTION

—

§ 1

APPAREILS D'EXTRACTION OSCILLANTS

862 — Le système pneumatique dont nous venons de nous occuper constitue un procédé d'*extraction sans câble*. On a également imaginé, dans le même but, des engins compliqués sur lesquels je passerai rapidement, d'un côté parce qu'ils présentent une grande analogie avec les fahrkunst dont nous nous occuperons plus tard (n° 1259), et surtout parce qu'ils ont été complètement abandonnés.

En 1849, M. Mehu a inauguré à Anzin le principe des appareils à taquets [1]. Que l'on se figure à cet égard (fig. 548) une série de clichages équidistants, que j'appellerai A, disposés sur toute la hauteur du puits, de manière à pouvoir être soulevés et effacés par le chariot qui se présente par-dessous, mais à l'arrêter, au contraire, dans son mouvement descendant. Imaginons, de même, deux poutrelles régnant du haut en bas, et portant un système analogue de clichages que je désignerai par B. Ces longuerines sont animées d'un mouvement vertical de va-et-vient, sous l'action d'un moteur établi à la surface.

Si un chariot plein repose actuellement sur le n^e clichage B_n, les tiges, en montant, l'amèneront à soulever le $n+1^e$ clichage

[1] *Annales*, 4ᵉ, XX, 3. — Ponson, *Traité de l'exploitation des mines de houille*, III, 327. — *CRM*, janvier et février 1874.

fixe A_{n+1}, qui retombera aussitôt après son passage. Les poutrelles se dérobent alors dans une oscillation descendante, mais le wagon ne peut les suivre. Il est immédiatement retenu sur les taquets A_{n+1}. Bientôt il sera rencontré, sur son bord supérieur, par la face inférieure des taquets B_{n+1}. Ceux-ci basculeront par l'effet de cet obstacle, s'effaceront pour passer le long de sa face verticale, et reprendront ensuite, au-dessous, leur position horizontale. Les longuerines remontant de nouveau, B_{n+1} saisit le véhicule par-dessous, et le monte, jusqu'à ce qu'il rencontre de bas en haut le clichage A_{n+2}, l'efface, et passe au-dessus, en le laissant retomber suivant l'horizontale. Lorsque le système de tiges redescend de nouveau, le wagon reste sur les taquets A_{n+2}, et les mêmes effets se reproduisent consécutivement. La benne pleine finit ainsi par arriver à la partie supérieure.

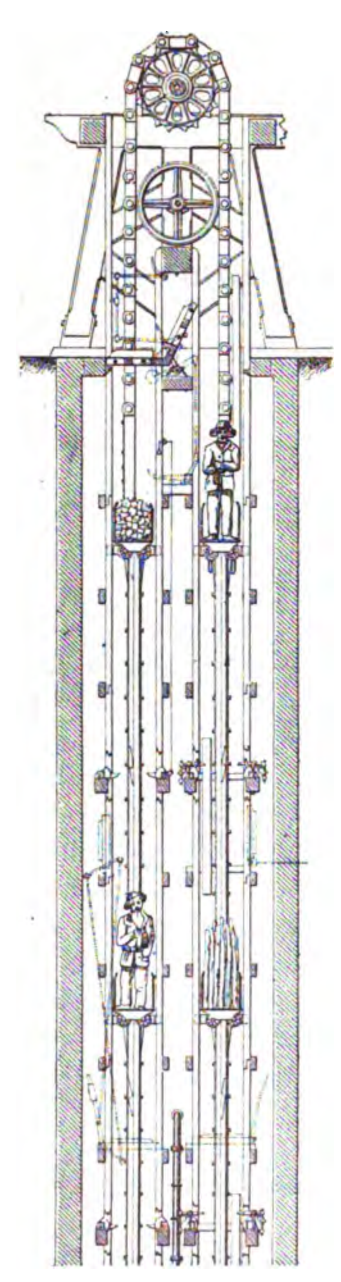


Fig. 548. Appareil Mehu.

La descente des wagons vides s'opère dans une autre travée, à l'aide d'un second système de tiges et de clichages un peu plus compliqués. Les taquets des tiges mobiles, après avoir déposé le chariot sur des clichages fixes s'effacent par la rencontre d'un obstacle, de manière à ne pas le reprendre en remontant; puis ils retombent en place plus loin, afin d'aller saisir le véhicule supérieur.

863 — M. Bource a imaginé un dispositif à double effet, en employant deux couples de tiges, dont les unes montent, pendant que les autres descendent. Il n'existe plus alors de taquets fixes, et le wagon qui vient de monter avec une paire de longuerines, se trouve déposé sur les taquets de l'autre, qui vient de descendre et, par suite, va remonter. De cette manière, il n'y a pas de stagnation pour le chariot entre chaque manœuvre, et l'ascension est rendue deux fois plus rapide.

M. Schultz avait disposé, à Ronchamp, un système analogue le long d'un plan incliné, circonstance qui était de nature à en augmenter encore la complication.

M. Ehrenger [1] en avait cependant amélioré le fonctionnement, en commandant tous les clichages à l'aide d'une tringle, au lieu d'en abandonner la manœuvre à leur propre poids.

M. Guibal [2] a encore proposé un système analogue, dans lequel les couples de tiges oscillantes actionnent des planchers sur lesquels repose le wagon. Il passe alternativement de l'un à l'autre des deux systèmes, en raison d'une inclinaison que prend spontanément le plancher, en arrivant à la fin de l'oscillation, et qui détermine le roulement du véhicule jusqu'à l'autre travée. De cette manière, le wagon plein se place, à chaque étage, sur celui des deux planchers qui est sur le point de monter. Il parvient ainsi jusqu'en haut, tandis que, sur une autre voie, le wagon vide se trouve incessamment sur le plancher qui va descendre, ce qui le conduit au fond.

M. Houdaille [3] a dernièrement proposé un système analogue, dont les taquets s'effacent par un mouvement de rotation.

Disons enfin que des appareils oscillants ont fonctionné autrefois en Suède, aux mines de Polhammar [4].

864 — Toutes ces inventions ont mis en évidence l'ingéniosité de leurs auteurs, pour lutter contre les difficultés d'exécution. Mais elles présentent une telle complication, dans un service où les prin-

(1) *Annales*, 4e, XX, 43.
(2) Ponson, *Traité de l'exploitation des mines de houille*, III, 337.
(3) *Écho des mines*, 1877, 325. — Habets (*Rev. univ. d. m. et u.*, 2e, XI, 115).
(4) *Rev. univ. d. m. et u.*, 1re, VI, 577.

cipales préoccupations doivent être celles de la simplification, de la sécurité et de la rapidité, qu'elles ont partout disparu. L'activité toujours croissante de l'extraction leur créerait évidemment des conditions de plus en plus défavorables.

On comprend, en effet, que ces innombrables articulations sont exposées à s'encrasser par la poussière, à se rouiller sous l'influence de l'eau, à perdre leur aplomb par les mouvements du terrain. Or il suffit qu'une seule d'entre elles cesse de fonctionner, pour tout entraver, et déterminer un arrêt plus ou moins prolongé ([1]).

M. Taskin ([2]) avait modifié la donnée précédente, en conservant une machine à molettes et à câbles, qui dessert, dans les conditions ordinaires, un étage supérieur de profondeur h, et manœuvre en outre, à l'extrémité des câbles, deux tiges de longueur $H - h$, si H désigne la hauteur totale du puits. Ces longuerines portent des paliers distants entre eux de la longueur h, et oscillant avec elles sur cette hauteur h, entre des recettes consécutives pratiquées dans les parois du puits, et destinées au déchargement du wagon vide, pour le remplacer par un chariot plein, ou réciproquement.

§ 2

EXTRACTION PAR LES MOTEURS ANIMÉS

865 — *Treuil à bras.* — Le treuil à bras, toujours cylindrique, est employé pour des extractions peu importantes, ou pour effectuer le commencement d'un fonçage. On dispose alors, sur l'orifice du puits (fig. 549, 550), un plancher qui en ferme un segment, et sur lequel on opère les manœuvres. Par-dessous, un galandage, disposé suivant un plan incliné, facilite la sortie des bennes.

Le caractère intermittent de l'opération est favorable au développement de la force de l'homme, en raison des intervalles de

([1]) M. Mathet a présenté la critique de ces systèmes, dans son mémoire sur les mines de Ronchamp (*Bull. min.*, 2e, XI, 138).

([2]) Ponson. *Supplément au traité d'exploitation des mines de houille*, II, 266.

repos qu'il lui procure. On peut ainsi porter jusqu'à 12 kilogrammes l'effort exercé sur la manivelle, lequel ne doit pas, quand on agit d'une manière continue, dépasser 7 à 8 kilogrammes. Le rayon de cette dernière reste compris entre $0^m,35$ et $0^m,40$. Il est

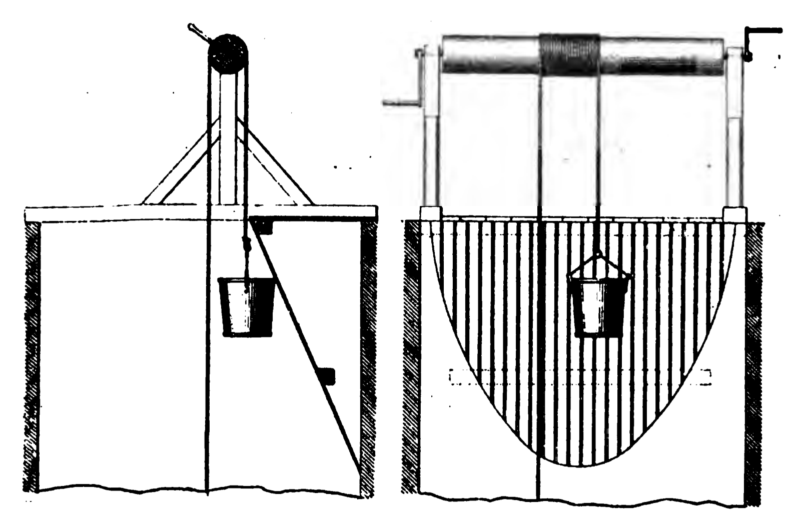


Fig. 549, 550. Treuil à bras (élévations latérale et antérieure).

à peu près impossible de faire agir sur chacun des deux bras de la manivelle plus de deux hommes à la fois. On a soin d'ailleurs de coupler ces bras à 180 degrés l'un de l'autre, afin d'entre-croiser les variations de la force motrice pendant la rotation.

866 — Le moment moteur, dans ces conditions, sera, au minimum :

$$4{,}12^{kg}.0^m{,}35 = 16{,}8.$$

Si donc on se donne directement le poids p de l'enlevage (¹) :

$$p = Q + q + \chi H,$$

le diamètre d du treuil ne devra pas dépasser la valeur :

$$(1) \qquad d = \frac{33{,}6}{p}.$$

(¹) Avec les notations précédentes (n° 791).

Il ne saurait, en même temps, descendre au-dessous du minimum nécessaire pour la solidité. Pour déterminer ce dernier, considérons ce treuil, de longueur l, comme formé de deux parties, de longueur $\frac{l}{2}$, encastrées en son point milieu, où je suppose appliqué l'effort p, et sollicitées, à leur extrémité libre, par la réaction $\frac{p}{2}$ du coussinet. Le point de la section circulaire le plus éloigné de l'axe neutre, en est à la distance $\frac{d}{2}$, et le moment d'inertie de cette section par rapport à ce même axe a pour valeur $\frac{\pi d^4}{2^6}$. On aura donc (¹), pour l'expression de la résistance R que doit présenter par mètre carré la matière du cylindre :

$$R = \frac{\frac{d}{2} \cdot \frac{p}{2} \cdot \frac{l}{2}}{\frac{\pi d^4}{2^6}} = \frac{8}{\pi} \frac{pl}{d^3},$$

et l'on en déduit :

$$d = 2 \sqrt[3]{\frac{pl}{\pi R}}.$$

On peut admettre, pour le bois de chêne :

$$R = 800\,000^{kg},$$

et l'emploi du fer donnerait encore plus de facilité. En acceptant cette valeur, il vient définitivement, pour le minimum d que l'on ne doit pas franchir :

$$(2) \qquad d' = 0{,}0147 \sqrt[3]{pl}.$$

Il faut, bien entendu, pour concilier les deux points de vue, que l'on ait :

$$d > d',$$

(¹) Haton de la Goupillière (*Traité des mécanismes*, p. 466).

ce qui donne, d'après les valeurs (1) et (2) :

$$p^4 l < 11\,634\,000\,000.$$

Si, par exemple, on suppose comme valeur extrême $l = 4$ mètres, il vient par là $p < 232$ kilogrammes. Or les charges utiles s'écartent peu ordinairement de 100 kilogrammes, et l'influence des poids du cuveau et du câble laissera encore une grande marge. Rien n'est plus facile d'ailleurs, comme nous l'avons dit, que de trouver, au besoin, un secours dans l'emploi du fer.

867 — La vitesse qu'il convient d'imprimer à la manivelle doit être d'environ $0^m,75$ par seconde. Celle de la corde aura par suite pour valeur :

$$(3) \qquad v = 0,75 \frac{\frac{d}{2}}{0,35} = \frac{36}{p},$$

en rendant à d sa valeur (1).

Le temps de l'ascension sera, par conséquent :

$$\frac{H}{\frac{36}{p}} = 0,028pH.$$

En y ajoutant le délai θ nécessaire pour la manœuvre de la recette, on obtiendra pour la durée effective d'une cordée :

$$(4) \qquad t = 0,028\,pH + \theta.$$

Pour déterminer le nombre total de cordées effectuées pendant la durée T du poste, nous désignerons par η l'avancement moyen qui peut être réalisé dans le fonçage, pendant cet intervalle, pour une section Ω du puits. En appelant ϖ le poids spécifique de la roche, et Π l'entretien d'eau pendant cette même durée T, le poids total P qu'il s'agit d'enlever sera :

$$(5) \qquad P = \varpi\Omega\eta + \Pi,$$

et, par suite, le nombre de manœuvres :

(6) $$\frac{P}{p}.$$

La durée totale du trait aura, d'après cela, pour valeur :

(7) $$\frac{Pt}{p},$$

et elle ne devra pas dépasser celle T du poste. De là une limite déterminée H_1, pour la hauteur H qui figure dans l'expression (4) de t, et qu'il ne sera pas possible de dépasser dans l'approfondissement, avec ces moyens d'extraction.

On peut en obtenir une seconde, par la considération du travail à développer. La quantité totale qu'on en peut demander à l'homme dans sa journée de travail, c'est-à-dire par poste de durée T, ne dépasse pas 140 000 kilogrammètres environ ([1]). Comme nous avons, d'ailleurs, supposé que l'on emploie 4 hommes à la manivelle, la profondeur ne devra pas excéder la valeur H_2 qui résulte de l'équation :

$$PH_2 = 4 \times 140\,000,$$

c'est-à dire :

(8) $$H_2 = \frac{560\,000}{P}.$$

868 — *Manège.* — Pour aller au delà, il y aura lieu de substituer au treuil un manège, qui ne saurait, du reste, utiliser à la fois que 3 chevaux au plus (fig. 195, tome I). Comme on peut, en même temps, admettre pour le rendement journalier du cheval un million de kilogrammètres ([2]), la nouvelle limite H_3 de fonçage se trouvera reculée dans le rapport :

$$\frac{3\,.\,1\,000\,000}{4\,.\,140\,000} = 5,36$$

([1]) Tome I, p. 770, note 1.
([2]) Tome I, p. 771.

c'est-à-dire plus que quintuplée. Il est bon, dans tous les cas, de commencer par une première période d'extraction à bras, au lieu d'installer de suite le manège. En effet, il sera toujours nécessaire d'employer des hommes pour la conduite des chevaux et les manœuvres de la recette, et ils ne se trouveraient pas suffisamment occupés au début, lorsque H n'a encore qu'une faible valeur.

Quand il faut en venir enfin à dépasser cette dernière limite H_3, on doit recourir à l'emploi de la vapeur, par les moyens que nous avons étudiés plus haut. Mais ces périodes préliminaires auront du moins procuré le temps nécessaire pour la préparation et l'installation de ce moteur.

869 — *Roue à marches.* — Si, au lieu de débris de fonçage, il s'agit d'élever des charges indivisibles, comme des pierres de

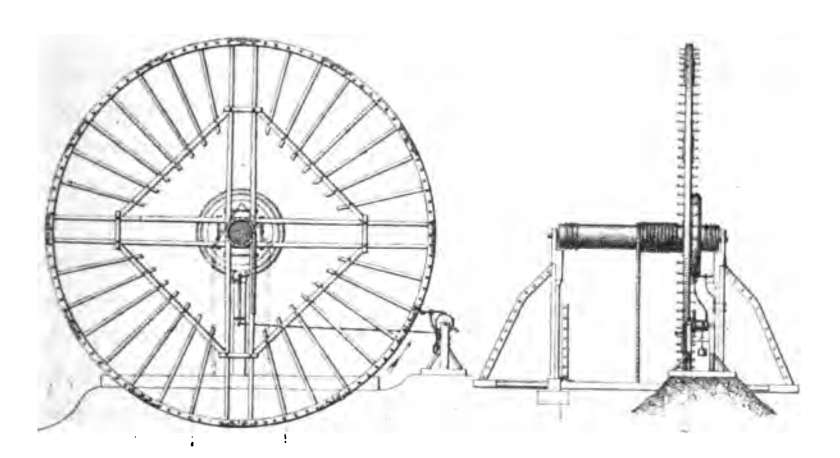


Fig. 551, 552. Roue à marches (élévations antérieure et latérale).

taille, on se trouve bientôt acculé à une impasse par cette considération que, pour équilibrer l'effort que peuvent déterminer 4 hommes sur un rayon de manivelle peu susceptible de variation, il ne faut donner qu'un moment égal à l'enlevage, et, par suite, faire varier le rayon du treuil en raison inverse de sa charge, ce qui est un contresens, au point de vue de sa solidité.

Le seul remède à cette difficulté consiste à dénaturer le système,

de manière à permettre à l'ouvrier d'agir avec une force et un bras de levier plus grands. C'est à quoi l'on parvient par l'emploi des roues à marches ou à chevilles (fig. 551, 552). Le manœuvre intervient alors dans l'équilibre par le poids total de son corps. Quant au bras de levier, il se trouve en relation avec le rayon de la roue, que l'on peut augmenter dans une large mesure. On fait alors l'abatage et l'approche des pierres pendant la plus grande partie de la durée du poste, et, à certains moments de la journée, les carriers se mettent sur la roue pour effectuer l'extraction. On sait d'ailleurs que l'homme trouve la meilleure utilisation du travail musculaire dont il est capable, dans l'élévation de son propre poids. On réalisera donc encore, sous ce rapport, un certain degré de supériorité de ce système sur celui de la manivelle.

870 — *Treuil différentiel.* — Comme le rayon des roues à marches et le nombre d'hommes qui peuvent y manœuvrer restent forcément limités, on entrevoit dans cette circonstance une nouvelle limitation du poids qu'il est ainsi possible d'enlever. Si cette limite devait être dépassée, on trouverait encore une autre solution dans l'emploi du treuil différentiel. Cet engin est composé de deux travées, dont les rayons R et r sont très peu différents l'un de l'autre (fig. 553). Un câble s'enroule dans le même sens sur les deux travées, en soutenant, dans sa spire lâche, une poulie mobile et sa chape.

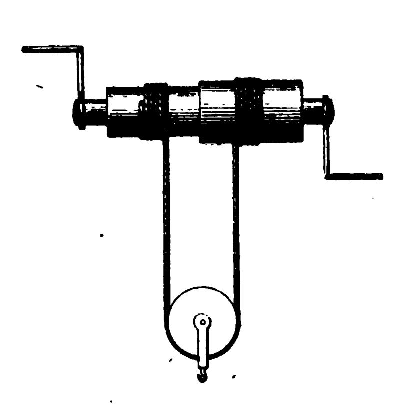


Fig. 553. Treuil différentiel.

Chaque révolution a pour effet d'enrouler une circonférence $2\pi R$, et d'en dérouler une autre $2\pi r$. La partie libre varie donc de $2\pi(R-r)$, et chacun de ses deux brins, de la quantité $\pi(R-r)$. Le travail d'élévation du fardeau p se trouve ainsi, pour un tour, égal à :

$$\pi\,(R-r)\,p,$$

et l'on voit que, pour l'égaler à la valeur que ne permet pas de franchir l'emploi des hommes, il reste possible d'augmenter p au delà de toutes limites, pourvu que l'on ait soin de réduire en raison inverse la différence $R - r$ des deux rayons. Or cette condition n'introduit plus maintenant aucune difficulté au point de vue de la solidité, puisque R et r resteront en même temps susceptibles de prendre des valeurs aussi grandes que l'on voudra. La vitesse seule de l'ascension pourra diminuer par là outre mesure, ce qui sera un inconvénient (inhérent du reste au fond même de la question, d'après le principe des vitesses virtuelles), mais non, comme dans les cas précédents, un obstacle absolu. Cet appareil, fort ingénieux, fournit ainsi une solution complète de la question, quoique, en fait, très peu usitée.

871 — *Treuil composé.* — Le treuil ordinaire est également employé à l'intérieur des mines, lorsqu'il s'agit d'effectuer, dans certains bures de communication, des extractions de peu d'importance.

Si le faux puits doit desservir à la fois deux étages d'exploitation. on peut employer un treuil de deux rayons différents, rigoureusement proportionnels aux profondeurs à parcourir. De cette manière, les deux trajets s'effectuent simultanément. Pour que les poids morts s'équilibrent dans ces conditions, il faut qu'ils soient en raison inverse des hauteurs et, par suite, des rayons.

Cet artifice a été employé notamment par Sevin à Carmaux, pour élever les wagons vides plus haut que le point d'où viennent les wagons pleins, comme dans les plans bisautomoteurs [1].

§ 3

EXTRACTION HYDRAULIQUE

872 — La force hydraulique peut s'appliquer à l'extraction, sous la forme d'une roue à double aubage ou d'une machine à colonne

[1] Tome I, p. 733.

d'eau (1). Une appropriation très bien entendue de ce dernier moteur est représentée par la figure 554 (2).

Cette machine, construite par Davey, fonctionne dans une mine de plomb des environs de Richmond (Yorkshire). Elle comprend deux cylindres couplés à angle droit sur l'axe du tambour, de $0^m,14$ de diamètre et $0^m,40$ de course, faisant 20 tours par minute. L'enle-

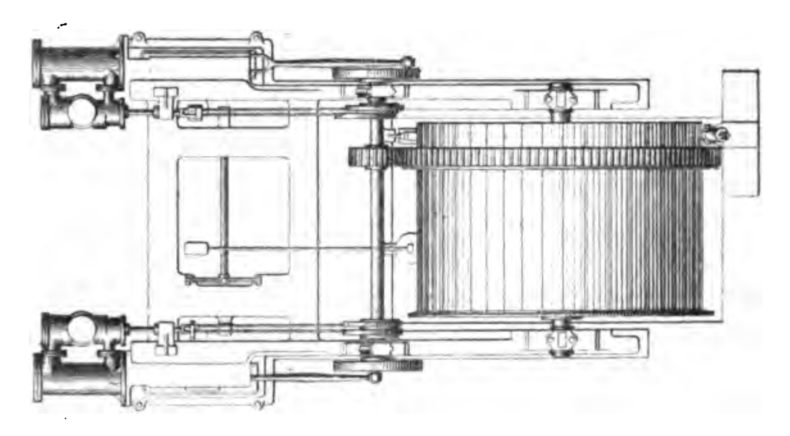


Fig. 554. Machine d'extraction à commande hydraulique.

vage, de 2 tonnes, s'élève à raison de $0^m,60$ par seconde. La distrilation, à double effet, s'opère à l'aide d'excentriques circulaires sans avance angulaire et de tiroirs sans recouvrement. Des contre-pistons équilibrent en partie la pression qui s'exerce sur les pistons distributeurs, pour les rendre dociles au changement de marche, que l'on effectue à l'aide d'une coulisse de Stephenson.

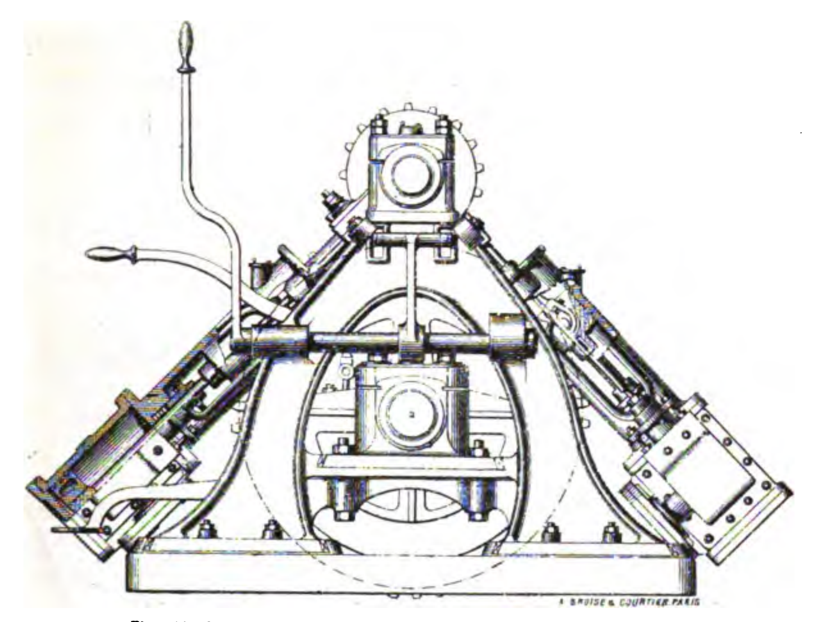
§ 4

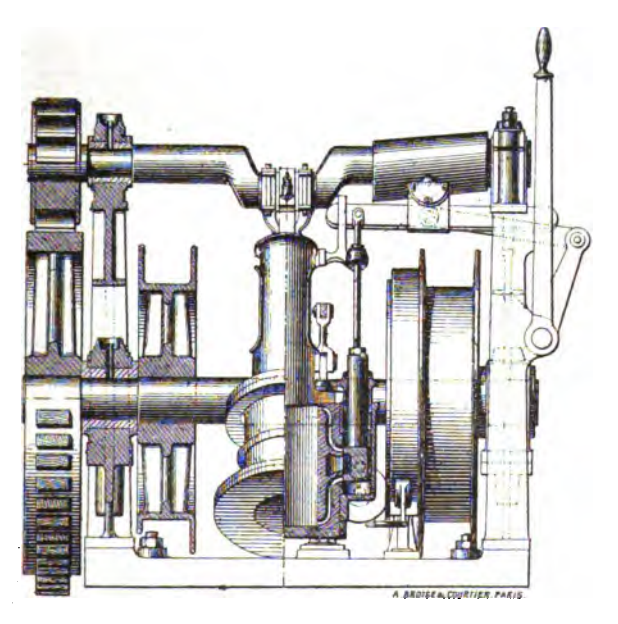
TREUILS MÉCANIQUES

873 — *Treuils à air comprimé ou à vapeur.* -- Lorsqu'une mine possède des compresseurs et une canalisation, on substitue avec

(1) Tome I, p. 774.
(2) *Institution of mechanical Engineers*, avril 1880. p. 252.

avantage, au treuil à bras, des treuils à air comprimé. On en a déjà


Fig. 555. Treuil à air comprimé de Bully-Grenay (coupe transversale).


Fig. 556. Treuil à air comprimé de Bully-Grenay (élévation).

proposé plusieurs types. Je citerai, par exemple, celui de Bully-Grenay (fig. 555 et 556), dans lequel deux cylindres couplés à 45°, à détente variable, reçoivent l'air au moyen d'une double came, de manière à pouvoir marcher dans les deux sens ([1]). MM. Sauter et Lemonnier construisent également un treuil à air, muni d'un frein, qui s'engage de lui-même au delà d'une certaine allure.

874 — Les treuils à vapeur (fig. 557) s'adaptent moins facilement aux conditions du fond, en raison des difficultés spéciales

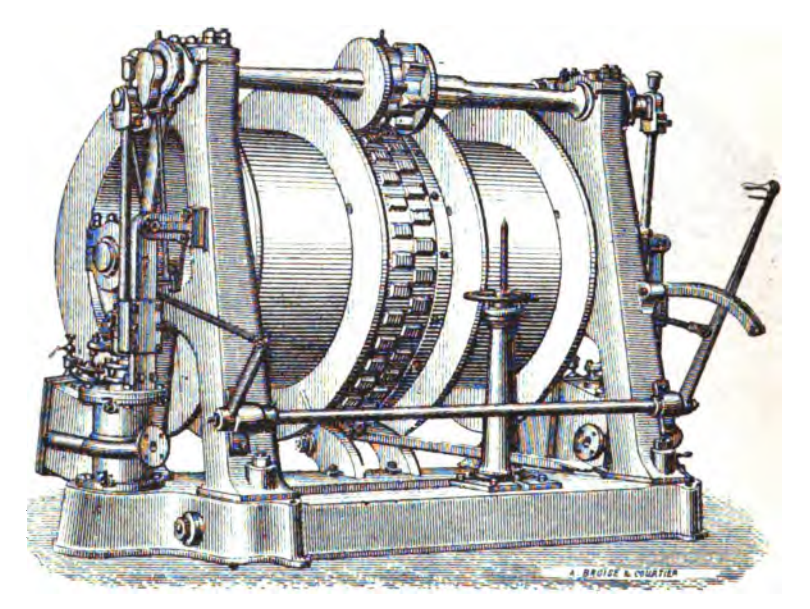


Fig. 557. Treuil d'extraction à vapeur Fournier et Levet.

occasionnées par ce fluide. On les réserve de préférence pour l'extérieur. On s'en sert, par exemple, pour suppléer à la machine d'extraction, en cas d'avarie, et opérer le sauvetage si le câble est rompu et la cage suspendue sur le parachute. Ce treuil peut être installé à l'orifice du puits pour servir, le cas échéant; mais il est plus simple qu'un même châssis roulant l'amène avec sa chaudière.

([1]) *La Compagnie des houillères de Béthune à l'Exposition universelle.* Paris, in-4°, 1878, planche V.

Nous signalerons également plus loin (n° 914) l'emploi du *treuil-cabestan*, pour le service des pompes de mines.

Une roue élévatoire à vapeur d'une puissance gigantesque vient d'être construite par la Compagnie Dickson, aux mines de cuivre de Calumet et Hécla [1], en vue d'éviter le transport sur les haldes, devenu impossible et trop onéreux, des déchets de la préparation mécanique. On a entrepris de les relever, sur une hauteur de 12 mètres, au-dessus de l'aire de l'atelier, de manière à les engager

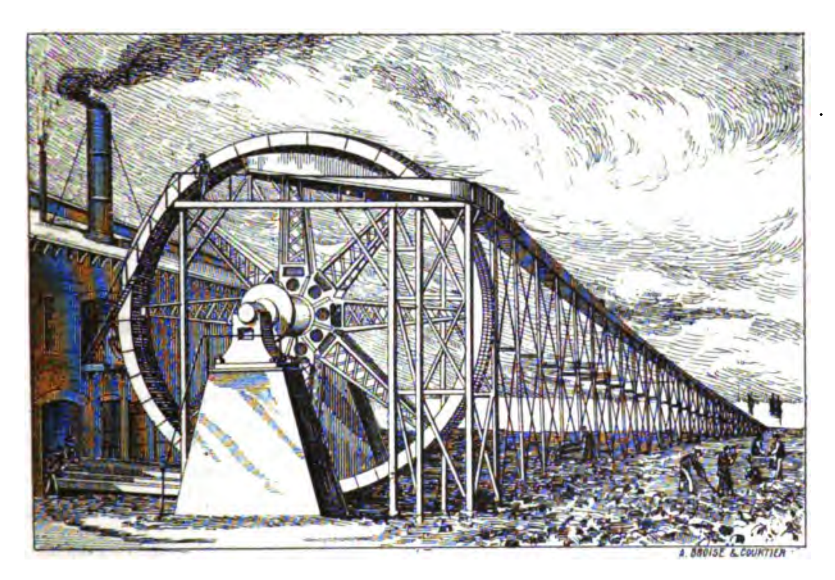


Fig. 558. Roue monte-charges de Calumet et Hécla (Lac Supérieur).

sur un plan incliné, par lequel ils se précipitent dans le lac Supérieur. On se sert à cet effet (fig. 558) de deux roues à godets de 13^{m},10 de diamètre, pesant ensemble 124 tonnes, et dont le prix de revient s'élève à 250 000 francs. Chaque roue est formée de deux travées, présentant cinquante godets, c'est-à-dire cent en tout. Entre les deux, se trouve un engrenage de 352 dents épicycloïdales, de 0^{m},117 de pas, et 0^{m},305 de largeur, actionné par un pignon d'acier et un moteur à vapeur de 175 chevaux. La roue fait quatre

(1) *Scientific American*, 8 mars 1884, p. 145.

révolutions par minute, et élève 9 mètres cubes de matériaux à chaque tour. L'arbre a $0^{m},76$ de diamètre.

875 — *Noria.* — On a employé en 1817, à Charleroi, une sorte de noria, ou chaine sans fin, supportant, de distance en distance, des wagons pleins ou vides, à peu près comme la chaîne flottante en entraîne horizontalement [1], ou comme les plans aériens du système Hodgson en font circuler à travers l'espace [2]. M. Sadin [3] a repris cette idée en 1850, au couchant de Mons, et M. Jeanson [4] l'a reproduite en 1878.

Ce principe avait été mis en avant, en vue de fournir un appareil équilibré dans toutes ses parties. Mais il prête à des balancements, des ruptures de dents ou de boulons, de grands frottements qui l'exposent, comme le système oscillant, à des avaries et des chômages fréquents.

La noria est souvent employée, sous le nom d'élévateur, dans les ateliers de préparation mécanique ou dans les fabriques d'agglomérés installés aux abords des puits, quand il s'agit de remonter les matières à un niveau supérieur.

On peut encore rattacher à cette donnée un *monte-bois* établi à Carmaux, pour racheter une différence de niveau considérable, qui sépare, du plâtre du puits, le plan d'arrivée des charrettes. Deux paires de poulies tournent de conserve, en haut et en bas, sur deux axes horizontaux. Deux bandes de tôle sans fin vont de l'une à l'autre, et portent des crochets, dans la concavité desquels on installe les étais, qui montent ainsi parallèlement à eux-mêmes.

876 — *Monte-charges.* — On emploie encore, dans les ateliers de préparation mécanique, des monte-charges à vapeur de divers modèles. Je citerai comme exemple le type Chrétien [5].

La pression admise sur le piston (fig. 559) le force à descendre,

(1) Tome I, p. 748.
(2) Tome I, p. 655.
(3) Ponson. *Traité d'exploitation des mines de houille*, III, 347.
(4) Jeanson. *Annuaire des mines et de la métallurgie française*, 1878-79, page VIII.
(5) *Bull. min.*, 2e, IV, 623.

en élevant, à l'aide d'une chaîne mouflée et de poulies de renvoi, un plateau qui porte le wagon plein. Un contrepoids descend avec la chaîne, de manière à équilibrer la plus grande partie, mais non la totalité, du poids mort du wagon. Après avoir retiré le chariot chargé, on lui en substitue un vide, qui descend avec une faible accélération, en raison de l'excès de poids que l'on a conservé, quand on supprime l'action de la vapeur.

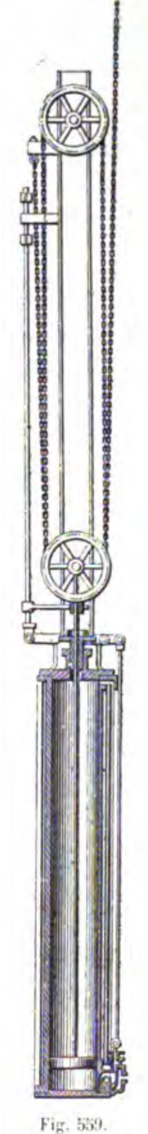


Fig. 559. Monte-charges Chrétien.

Un tube latéral, établi sur le flanc du cylindre, comme dans une machine de Cornouailles, permet d'établir la communication entre les deux extrémités. La vapeur passe ainsi d'une face à l'autre du piston, tandis que celui-ci remonte. Cette période d'équilibre cesse un peu avant la fin de la course, afin de déterminer la compression de la vapeur et de détruire la force vive acquise. On n'opère ensuite l'échappement de la vapeur, qu'au moment même d'effectuer une nouvelle ascension. Sa présence pendant cet intervalle présente l'utilité de maintenir la température des parois, et de diminuer, autant que possible, la condensation lors de la nouvelle admission.

Ajoutons qu'un taquet automoteur coupe cette admission, au moment où le wagon plein arrive au terme de sa course ascendante, dans le cas où le mécanicien oublierait par inadvertance de la fermer lui-même. Souvent même on n'affecte pas de mécanicien spécial à un appareil d'aussi peu d'importance, et chacun des ouvriers, en petit nombre, qui sont affectés à ce service de roulage, opère lui-même l'échappement et l'admission, quand il a embarqué son wagon.

L'appareil est sans détente. On peut, en effet, regarder comme préférable, dans de telles conditions, la simplification, plutôt qu'une économie qui ne porterait proportionnellement que sur une aussi faible quantité de travail.

§ 5

EXTRACTION A CIEL OUVERT

877 — Dans les exploitations à ciel ouvert, le puits disparaît, et, avec lui, tout l'organisme étudié ci-dessus, qui lui est étroitement lié. On peut, dès lors, chercher à faire en sorte que le dispositif qui le remplacera dispense, dans une certaine mesure, du roulage entre le chantier et un point de concentration unique, tel qu'est le pied du puits qui forme, dans les travaux souterrains, la seule communication avec le jour. On y est parvenu au moyen des deux systèmes suivants [1].

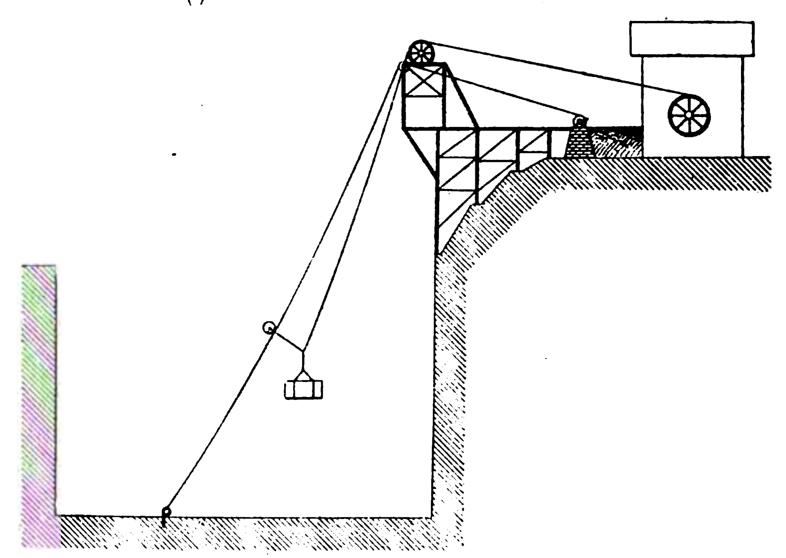


Fig. 560. Billon de conduite.

Le premier (fig. 560) convient aux excavations qui n'ont qu'un seul *chef*, sur lequel on installe le moteur. Il consiste en deux câbles, dont l'un sert de guide, et l'autre effectue l'extraction. Ce dernier passe, comme à l'ordinaire, sur une molette et une bobine. Le second

[1] Blavier, *Ardoisières d'Angers*, p. 25.

porte le nom de *billon de conduite*. On l'amarre en des points variables du fond de la fosse, en vue d'en desservir successivement les diverses régions. On règle sa longueur et sa tension, au moyen d'un treuil établi sur le chef de la carrière. Il porte une poulie roulante à gorge, à la chape de laquelle s'attache l'extrémité inférieure du câble porteur auquel se trouve suspendu le *bassicot*.

878 — Le second dispositif (fig. 561) suppose que la fosse pré-

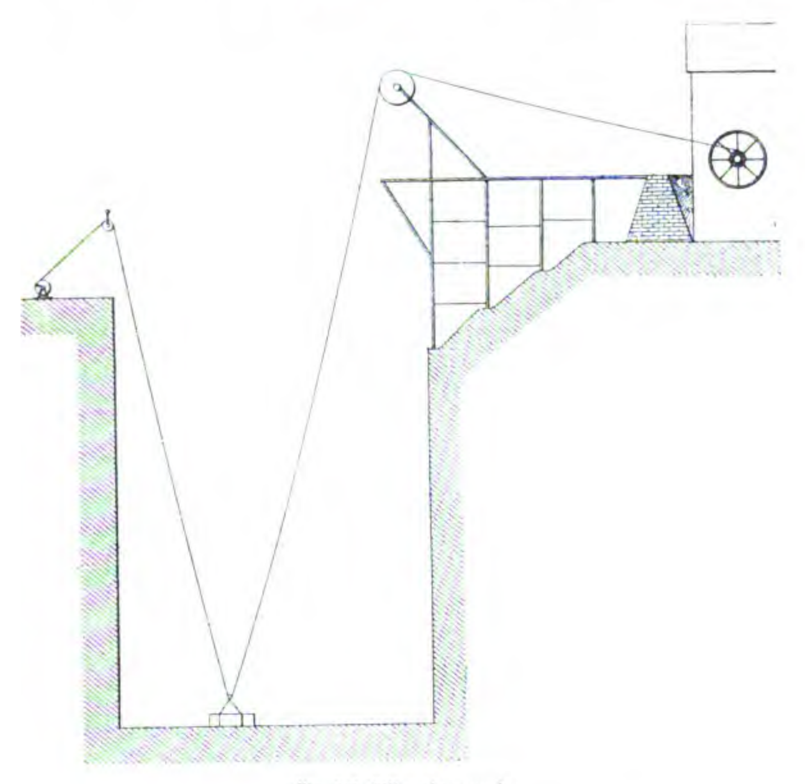


Fig. 561. Billon de rappel.

sente deux chefs escarpés, dont l'un porte le moteur, et l'autre le point d'attache, pour dispenser de l'assujettissement résultant de sa variation dans le fond de la carrière. A cet effet, l'on établit un gros câble fixe, parallèle à ce second chef, et c'est à ce câble que s'attache, en des points variables, le *billon de rappel*, dont la lon-

gueur est encore réglée à l'aide d'un treuil. Cette variation du point d'attache permet de disposer à volonté du plan vertical, qui réunit ce billon de rappel au moteur, et dans lequel reste compris le câble porteur. Le bassicot est suspendu à l'extrémité commune de ces deux cordages. Il s'élève donc en raison de la traction exercée sur le câble porteur, en décrivant, autour du point d'attache, un cercle déterminé de manière que cette trajectoire parvienne à la recette supérieure

§ 6

APPAREILS DE DESCENTE

879 — *Balance sèche.* — A côté de la question de l'élévation des minerais, qui nous a occupés jusqu'ici, il est nécessaire de faire une part à ce qui concerne la descente des remblais, des bois, des rails, des diverses sortes de matériaux, et, dans certains cas, des minerais eux-mêmes.

Nous avons vu [1] que, sauf de très rares exceptions, on renonce, en général, à combiner, en vue de l'équilibre et de l'économie de la force motrice, la sortie du charbon avec la rentrée du remblai. Celle-ci s'opère donc *à charge*, c'est-à-dire à l'aide du frein ou de la contre-vapeur [2], destinés à détruire le travail de la gravité, dans des appareils calqués sur celui d'extraction (fig. 562, 563), lorsque la profondeur est importante. On adjoint alors au frein proprement dit, dont le serrage peut être réglé à volonté suivant les incidents de la marche, un régulateur hydraulique automoteur [3] composé d'une roue à palettes qui tourne dans l'eau, en absorbant la plus grande partie du travail [4].

880 — Indépendamment des descentes à effectuer sur une hauteur

[1] Tome I, p. 469.

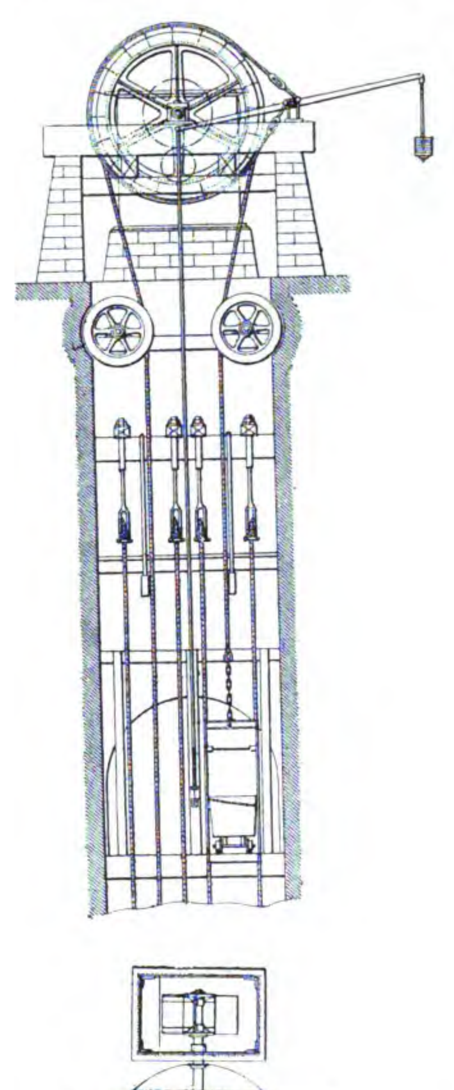
[2] Dombre. Application de la contre-vapeur à l'équilibre des machines d'extraction (*Bull. min.*, 2e, IV, 805).

[3] Nous avons déjà rencontré la distinction du frein et du régulateur (tome I, p. 719), en ce qui concerne les plans inclinés.

[4] Griot. Mémoire sur les descenderies de remblai des houillères de Montrambert (*Bull. min.*, 2e, X).

de quelque importance, on a fréquemment l'occasion d'en opérer pour de très faibles dénivellations. Je citerai, par exemple, la manœuvre des cages à plusieurs étages, lorsque, pour gagner du temps, on les dessert simultanément, au lieu de faire élever et descendre la cage par le mécanicien, de manière à présenter successivement ses divers planchers à un niveau unique d'accrochage. Il s'agit alors, quand la cage est repartie, de rassembler sur la voie de départ tous les wagons vides qu'elle a ramenés, en répartissant inversement des chariots pleins aux divers paliers d'embarquement; ces manœuvres doivent toujours se faire sans un moteur spécial, et, pour cela, en descendant.

Les appareils affectés à ce service portent le nom de *balances sèches* [1]. Ils sont, en effet, analogues,



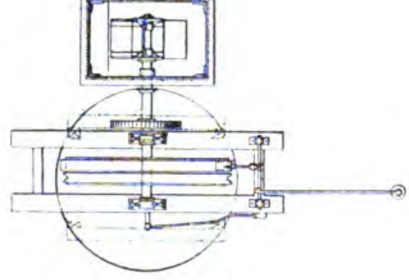


Fig. 562 et 563.
Descenderie de remblai de Montrambert
(plan et élévation).

[1] Je rappellerai que l'on en peut éviter l'emploi, à l'aide de galeries qui rachètent la différence de niveau en contournant le puits (n° 762).

quant à la forme, aux balances hydrauliques, souvent employées comme monte-charges; seulement l'eau motrice est ici supprimée et remplacée par un frein. On peut en définir d'un seul mot le dispositif, en disant qu'ils reproduisent identiquement l'armement d'un plan incliné automoteur, que l'on redresserait par la pensée jusqu'à la verticale (¹). On y retrouve le câble, le contrepoids, la poulie, le frein, etc. Les rouleaux, devenus sans objet, sont seuls supprimés. Les balances sèches peuvent, comme les plans inclinés eux-mêmes, fonctionner à simple ou à double effet. La figure 564 représente une balance à simple effet.

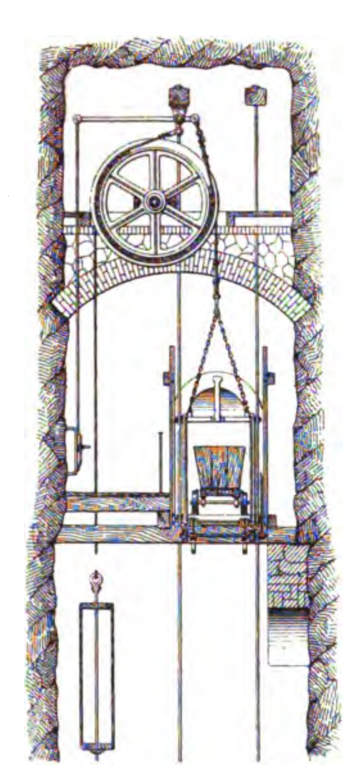


Fig. 561. Balance sèche.

881 — Un type de frein très commode a été adapté à certaines balances de la Grand'Combe. Il est fondé sur l'étranglement du mouvement d'une veine liquide.

A cet effet, un piston, mû par la balance, parcourt un cylindre plein d'eau, sur le flanc duquel un tube latéral établit la communication entre ses deux extrémités, de manière que l'eau refoulée par une face du piston puisse venir au contact de l'autre. On insère, en un point de ce tube, un robinet, à l'aide duquel il est facile, en rétrécissant plus ou moins le passage offert au liquide, d'augmenter à volonté la résistance. On peut même déterminer l'arrêt absolu, si l'on vient à fermer le robinet, en ayant soin de ne pas le faire trop brusquement, de peur de déterminer un choc et un coup de bélier.

(¹) Tome I, p. 715.

882 — A l'extérieur de ces mêmes mines, M. Graffin a établi un autre *descend-charges* hydraulique d'un principe ingénieux.

Dans une cuve verticale, en partie remplie d'eau, flotte une caisse en tôle, surmontée d'une colonne métallique, qui est percée de trous à la partie inférieure sur le pourtour d'une certaine zone, et surmontée d'un plateau. Quand celui-ci est vide, le poids du système se trouve tel que la colonne émerge complètement, le plateau affleurant au niveau du plan de l'arrivée supérieure. Lorsqu'un wagon plein vient à y être embarqué, le système s'enfonce vivement sous cet excédent de poids, mais, si la colonne était étanche, il retrouverait plus bas un niveau de flottaison, en raison de ce supplément de déplacement. Aussi la chute rapide s'arrête-t-elle bientôt. Seulement la zone percée de trous se trouvant alors immergée, le liquide s'introduit peu à peu par ces voies d'eau, et le système s'enfonce progressivement, de manière à parvenir sans secousse à la base.

On retire alors le wagon chargé, et on le remplace par un chariot vide. Cet allègement détermine une ascension rapide, qui trouverait également plus haut une position d'équilibre, si la colonne était étanche. Mais la zone perforée émergeant ainsi successivement, l'eau renfermée dans l'intérieur s'échappe par les trous, et le système remonte lentement pour regagner sa position initiale.

883 — *Rivage*. — Le problème de la descente des minerais prend une physionomie spéciale, lorsqu'il s'agit d'embarquer rapidement un tonnage considérable sur les canaux ou dans les ports de mer (1). Il se résout alors à l'aide d'appareils que l'on désigne habituellement sous le nom de *rivages* (2).

Un premier mode consiste à laisser glisser les matières sur des couloirs convenablement disposés. On peut citer, à cet égard, comme l'un des plus beaux exemples, les rivages de Lens, établis par

(1) Ou sur les grands lacs. Les estacades de Marquette, sur le lac Supérieur, présentent une longueur de 375 mètres, dont 200 sont accessibles aux navires. On doit les prolonger encore de 150 mètres. Leur hauteur est de 12 mètres au-dessus du plan d'eau. 136 poches à minerai sont disposées le long de leur développement. On peut charger 8 bateaux à la fois, et 6000 tonnes par jour. Un navire de 500 tonneaux se remplit en cinq quarts d'heure.

(2) *CRM*, 1882, 18.

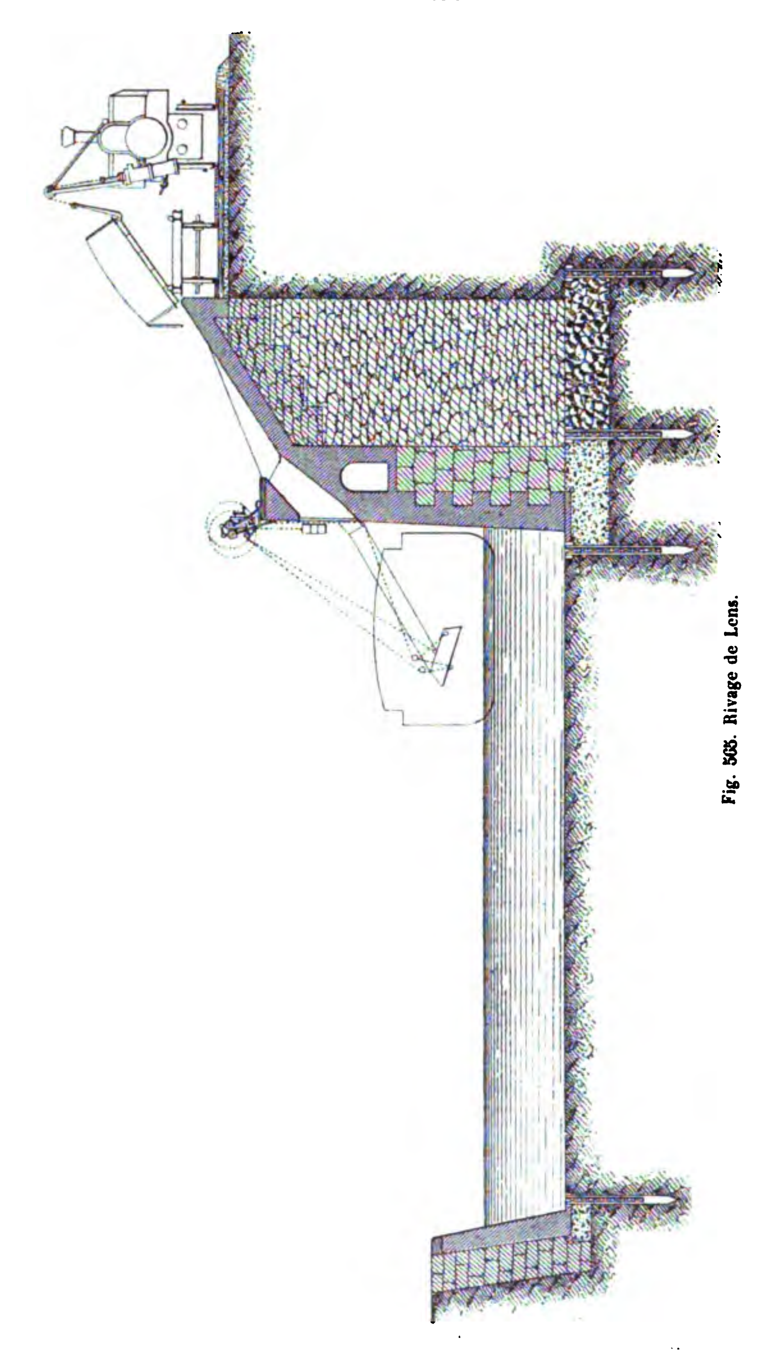


Fig. 565. Rivage de Lens.

M. Reumeaux (fig. 565). Le chemin de fer de la Compagnie longe le quai de la Deule. 48 glissières en tôle s'y trouvent disposées, pour un nombre égal de wagons. Une première partie est ménagée sur le terre-plein avec une pente de 32 degrés. Une seconde travée présente 50 degrés d'inclinaison générale, et des raccordements latéraux en forme de surface gauche. Un bec mobile lui fait suite et peut se manœuvrer du bord, à l'aide de chaînes et d'engrenages, de manière à se disposer dans toutes les directions. Il existe même un avant-bec susceptible de se renverser en arrière au-dessous du premier. On arrive, par ces moyens, à faire couler doucement le charbon dans toute la largeur du bateau.

Dès que le train arrivant de la mine accoste le rivage, la locomotive se détache, va s'aiguiller à une certaine distance, et revient, sur une voie parallèle, se placer successivement en face de chacun des wagons. Ceux-ci sont établis sur les dimensions du grand matériel de chemins de fer. Le véhicule se compose d'un truc, surmonté d'une partie mobile que l'on a fractionnée en deux caisses distinctes, pour en faciliter la manœuvre. Elles sont disposées à charnière libre, afin d'éviter l'encrassement, et aussi de pouvoir basculer à volonté autour de l'un quelconque des deux bords longitudinaux, de manière que le wagon puisse être attelé indifféremment dans les deux sens. On engage un étrier sous la caisse, du côté opposé au rivage. Le mécanicien donne la vapeur dans un cylindre vertical, et soulève ainsi, au moyen d'un piston qui commande cet étrier, le bord de la caisse, en la faisant basculer latéralement. Après le déversement, on laisse échapper la vapeur dans la cheminée de la locomotive, pour entretenir le tirage du foyer. La caisse retombe, et l'on passe à la suivante en déplaçant successivement la locomotive. On arrive ainsi à charger un bateau de 270 tonnes en moins de trois quarts d'heure.

Aux rivages de Bruay (Pas-de-Calais), le basculement des véhicules s'opère au moyen de la pression hydraulique d'un cylindre placé en contre-bas (fig. 507). La manœuvre est ainsi rendue très docile. On peut arrêter le wagon dans des positions intermédiaires, de manière à graduer à volonté le déversement, au lieu de l'effectuer d'un seul coup. De plus, on peut se servir du matériel roulant

ordinaire, en se contentant de rendre ses faces latérales mobiles autour de charnières supérieures.

884 — Dans le bassin de Newcastle [1], on emploie des appareils plus simples, appelés *spout* (fig. 566). Des couloirs A, B, C sont étagés l'un au-dessus de l'autre, pour tenir compte des variations de la marée. Un avant-bec mobile M peut s'adapter à l'un ou à l'autre, au moyen de chaînes que l'on manœuvre des bords du quai. Des voies ferrées *aa'*, *bb'*, *cc'* se trouvent en rapport avec ces couloirs, et les wagons s'y déchargent par le fond, qui s'ouvre en deux, au moment où l'on déclanche une clavette [2].

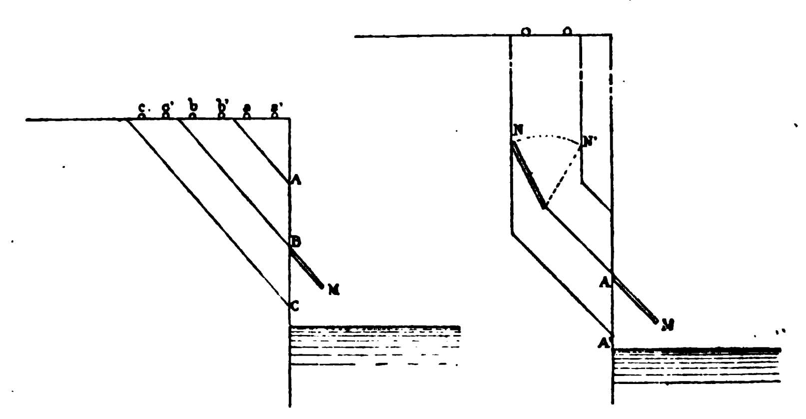


Fig. 566 et 567. Spout (diagrammes schématiques).

Lorsque la hauteur est grande, la largeur horizontale, qui lui est proportionnelle, pour conserver une pente convenable, occuperait une trop grande étendue du quai. On dispose alors plus près du bord (fig. 567) un puits de la hauteur nécessaire. Il aboutit à deux couloirs A, A', qui servent alternativement suivant l'état du flux. L'avant-bec M se reporte, à cet effet, de l'un sur l'autre. En même temps, une trappe, en se renversant de N en N', met le puits en communication avec chacune des glissières alternativement.

[1] Piot (*Annales*, 4e, I). — Duguet (*Rev. univ. d. m. et u.*, 2e, IV, 219, 549).

[2] Les cinq spouts de Huelva, construits par la Compagnie de Rio Tinto, permettent de charger 1000 tonnes dans une matinée. Ils sont disposés le long d'une estacade de 579 mètres, établie à près de 10 mètres au-dessus des marées ordinaires. L'ensemble de cet ouvrage a coûté 3 630 000 francs.

885 — Un second mode de chargement consiste, pour éviter la détérioration du combustible qui est produite par son glissement dans les couloirs, à descendre le wagonnet lui-même, avec la charge, à un niveau inférieur, de manière à réduire l'influence du déversement.

Je citerai, en premier lieu, le *drop*, appareil assez encombrant

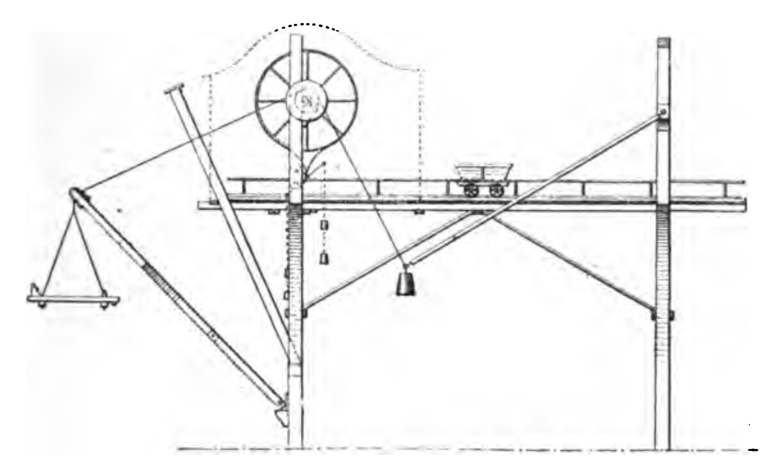


Fig. 568. Drop.

(fig. 568). Il consiste en un plateau de balance suspendu à l'extrémité d'un immense bras de levier. Celui-ci tourne autour d'une charnière horizontale, disposée à son extrémité inférieure. Elle permet au plateau de s'abaisser successivement, de la voie supérieure jusqu'au bateau. Un contrepoids, moins lourd que l'ensemble du système chargé d'un wagon plein, prend au contraire la prépondérance quand le chariot a été déchargé, et ramène le tout à la position initiale.

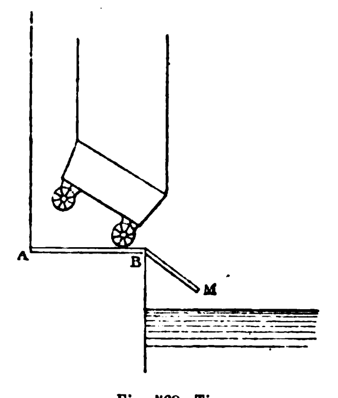


Fig. 569. Tip (diagramme schématique).

Le *tip* est un appareil plus simple, usité dans le Durham. Le wagon est amené sur une plate-forme mobile AB (fig. 569), qui s'affaisse

sous son poids, et sera ultérieurement remontée par un contrepoids, quand le déchargement aura été accompli. Le déversement s'opère spontanément, dès que le véhicule parvient à la partie inférieure. En effet, la chaîne d'arrière est trop courte, et le wagon reste suspendu par l'arrière en s'inclinant vers l'avant, tandis que l'on déclanche sa face antérieure, qui s'ouvre autour d'une charnière supérieure.

SEPTIÈME PARTIE

ÉPUISEMENT

CHAPITRE XXXVII

AMÉNAGEMENT DES EAUX

§ 1

INVESTISONS

886 — *Régime hydrologique souterrain.* — L'écorce terrestre présente souvent des terrains essentiellement poreux, comme les sables, ou d'autres de nature solide, mais crevassés et fendillés dans tous les sens. Cette circonstance tend à se développer encore, par le seul fait de l'exploitation et des mouvements qui en sont la conséquence. On doit donc s'attendre, en général, à voir envahir par les eaux les cavités souterraines, si l'on ne prend des mesures spéciales pour les en préserver [1].

On peut, en ce qui concerne leur provenance, distinguer les *eaux de surface* et les *eaux profondes*. Les premières ont une origine

[1] Il est bien rare, en effet, qu'une mine ne présente pas d'eau à extraire. Il existe cependant des mines sèches, constituant des exceptions locales, ou même d'un caractère plus général. On peut citer, comme exemple, la région désertique de la Cordillère des Andes, qui comprend de nombreuses exploitations d'argent, de cuivre, d'azotate de soude, etc. Dans ces contrées privées de pluie, c'est pour les exploitants une préoccupation importante de se procurer de l'eau, souvent à grands frais, en ayant soin de recueillir, dans des condenseurs fermés, la vapeur d'échappement des machines.

prochaine, due à la chute de la pluie, aux fontes de neige, aux infiltrations des cours d'eau dans un rayon rapproché. Les failles en sont le véhicule le plus redoutable ([1]), car elles établissent d'un seul coup la communication à toutes les hauteurs, en traversant les cloisons étanches que pourraient ménager les alternances de la stratification.

Les eaux profondes ont, en dernière analyse, la même origine descendante, plus ou moins détournée. Cependant elles peuvent venir de loin dans le sens horizontal, et même surgir, par des jeux de pression, d'une profondeur importante qu'accuse leur température, car certaines mines sont échauffées par de véritables sources thermales.

887 — On peut se figurer, à cet égard, dans l'espace à trois dimensions, un système hydrologique analogue à ce que nous présente, à deux dimensions, celui de la surface. Il est certain, qu'indépendamment de l'infiltration dans la masse, à travers d'innombrables canaux, en quelque sorte capillaires, les terrains recèlent de véritables rivières ou lacs souterrains.

On a rencontré, dans certains sondages, des courants assez forts pour courber et faire vaciller les tiges. Quelques travaux de mines ont recoupé des veines coulant à plein tuyau, à travers d'anciennes fissures, élargies par le frottement ou par l'acidité des eaux dans les calcaires ([2]), et s'asséchant tout à coup lorsqu'une voie plus profonde

([1]) Rôle des lithoclases relativement au régime des eaux souterraines (Daubrée, *Les eaux souterraines*).

([2]) On en rencontre un exemple remarquable dans les *moulières*, qui constituent l'une des plus graves difficultés de l'exploitation du bassin de Fuveau (Bouches-du-Rhône). M. l'ingénieur en chef des mines de Villeneuve-Flayosc (*Description géologique et minéralogique du Var*, 1856) en a rapporté la formation à des fissures naturelles de peu d'importance, parcourues par les eaux de surface imprégnées d'oxygène, qui ont peu à peu oxydé les pyrites, et attaqué les calcaires par l'action de l'acide sulfurique, en les dissolvant en outre à l'aide de l'acide carbonique libre. De larges passages prennent ainsi naissance; les carbures d'hydrogène sont détruits; il reste, à la place du lignite, un combustible décomposé, et l'éboulement des parties supérieures prend un aspect chaotique connu sous le nom de *partens de sel*. Ces phénomènes ont été décrits avec une grande précision par M. l'ingénieur en chef des mines Villot (*Annales*, 8e, IV, 25). Des effets du même genre ont été signalés par M. l'inspecteur général des mines G. de Nerville dans les exploitations de combustible du plateau de Larzac, dans les lignites de Bohême par M. l'ingénieur des mines Lallemand (*Annales*, 7e, XIX, 350), et dans ceux de l'Istrie et

venait à leur être ouverte. Les grottes naturelles renferment des rivières souterraines d'une réelle importance. On connaît d'ailleurs, à la surface, de nombreux exemples de cours d'eau qui se perdent sous terre, et reparaissent au jour plus loin, circonstance qui peut se reproduire, pour le même, plusieurs fois de suite. M. Jus a vu, dans ses sondages artésiens du Sahara, sortir avec les eaux, des animaux vivants, dont les espèces variées indiquaient la provenance lointaine (tome I, p. 140).

Il existe également de vastes réservoirs plus ou moins stagnants. Le *torrent* d'Anzin, par exemple, a été reconnu sur toute son étendue par des exploitations pour lesquelles il a été la source des difficultés les plus graves, et qui ont réussi à le maîtriser. On lui a trouvé des dimensions d'environ 3 kilomètres sur 5. Sur une échelle beaucoup plus réduite, beaucoup de mines ont à redouter des amas d'eau connus sous le nom de *bains*, et formés sous l'influence de causes naturelles, ou au sein des vieux travaux. Ceux-ci, dans certains districts, sont assez multipliés et assez mal connus, pour que l'on ait de grandes difficultés à *passer en serre*, c'est-à-dire à trouver à coup sûr un massif suffisant pour le fonçage d'un nouveau puits.

888 — La composition de ces eaux est naturellement très variable, mais elle offre peu d'intérêt.

Quelquefois elles sont fétides et chargées d'hydrogène sulfuré, comme celles du calcaire carbonifère dans certaines concessions du Pas-de-Calais.

Il faut surtout noter avec soin cette circonstance importante, que les eaux de mine sont presque toujours acides, en raison de l'altération des pyrites que renferment beaucoup de houillères, et la plupart des filons. Elles sont, par suite, nuisibles pour le pied des chevaux et la conservation des rails. On ne saurait, que dans des

de la Dalmatie par M. l'ingénieur des mines Lodin (*Annales*, 8e, III, 219). On sait d'ailleurs à quel point le sous-sol de la Carniole a été corrodé et miné par l'action des eaux souterraines. Dans cette contrée, ainsi que dans beaucoup d'autres, de vastes grottes naturelles montrent, par leurs vides immenses, la trace des dissolutions ; et, en même temps, par les stalactites dont elles sont revêtues, le dépôt du calcaire qui s'est effectué dès que l'acide carbonique libre a pu se dégager, en cessant de tenir cette substance en dissolution.

cas très rares [1], les appliquer à l'alimentation des chaudières. Elles ne peuvent servir qu'à la condensation (n° 934), ou à la préparation mécanique. Il arrive même quelquefois que l'on est obligé de renoncer, pour les appareils de lavage, à l'emploi du fer, en lui substituant celui du bois. Dans des puits de Freyberg, les eaux corrodaient tellement les pompes que l'on était obligé de les saturer avec de la chaux. On a de même installé pendant quelque temps, à Carmaux, un purificateur des eaux acides, destiné à y tamiser de la chaux en poudre, en dose proportionnelle à leur débit, ce que l'on obtenait en le faisant actionner par le courant lui-même.

Certaines mines de pyrites métalliques fournissent des eaux d'une teneur vitriolique assez élevée pour avoir donné lieu à diverses applications. A Fahlun, on a pratiqué la cémentation avec de la fonte, de manière à obtenir des précipitations de cuivre. A Sainbel, on a essayé d'y faire digérer les bois de mine, afin de les préserver de la putréfaction.

889 — *Investisons*. — Avant de songer à sortir les eaux qui envahissent la mine, le plus simple serait évidemment de les empêcher d'entrer, ou, du moins, puisqu'une prétention aussi absolue serait évidemment chimérique, d'en restreindre autant que possible l'accès. Les moyens de défense peuvent à cet égard concerner soit l'extérieur, soit l'intérieur.

A la surface, on préservera de l'affluence des eaux les affleurements plus particulièrement perméables, au moyen de fossés tracés en amont de ces zones, en leur ménageant un écoulement direct vers la vallée. Si des cours d'eau proprement dits traversent ces affleurements, on leur constitue un lit artificiel en bois, en terre glaise, ou en béton.

On doit avoir soin, dans la mesure du possible, de combler les fontis, les bâillements qui proviennent du tassement des terrains, et sont de nature à engouffrer les eaux de surface.

890 — A l'intérieur, on trouvera avantage à s'étendre plutôt en

[1] Lechatelier, inspecteur général des mines. Mémoire sur l'emploi des eaux corrosives pour l'alimentation des chaudières à vapeur.

profondeur que dans le sens horizontal, toutes choses égales d'ailleurs, et sauf les considérations d'un ordre différent qui peuvent militer en sens opposé. En effet, cette disposition aura pour résultat de mettre en relation un plus grand cube de travaux avec une même surface topographique.

On conserve des massifs de protection contre les vieux travaux, quand on en connaît la situation, et contre les concessions limitrophes, à moins d'entente mutuelle pour effectuer l'épuisement à frais communs (n° 902). On ménage également de tels *investisons* sous les rivières et les canaux.

Il est nécessaire de les déterminer attentivement, en se rendant un compte aussi exact que possible de leur influence probable. En effet, si l'investison est trop étroit, non seulement il perd son efficacité, mais il devient plus nuisible que ne le serait l'enlèvement complet. Il se comporte alors, en effet, comme un coin, en résistant à l'affaissement général qui se produit de part et d'autre, et détermine un vaste éclatement, précisément dans l'axe dangereux que l'on avait en vue de protéger. Il sera, pour cela, nécessaire de s'inspirer des principes généraux qui ont été esquissés plus haut (tome I, p. 481), relativement aux ruptures du terrain, afin de disposer les massifs réservés, de manière à écarter les dislocations probables à une distance suffisante des parties de la surface les plus redoutables, au point de vue de l'introduction des eaux. Nous avons vu que l'on se trouve conduit ainsi à conserver des massifs, non pas suivant la verticale de ces régions, mais en se guidant d'après leurs projections orthogonales sur le plan de la couche exploitée.

891 — Les masses protectrices les plus utiles ne sont pas toujours celles que l'on ne peut ménager qu'en sacrifiant, pour cela, une partie de la matière utile. Souvent la nature y a pourvu directement, et pour des régions entières, en intercalant, entre l'étage exploitable et les morts-terrains aquifères, un rideau étanche d'une puissance suffisante.

On peut citer, comme un exemple classique à cet égard, la formation qui recouvre le bassin franco-belge. L'immense éponge que forment, au-dessus de l'étage houiller, les terrains crétacés ou ter-

tiaires, renferme à sa base son propre préservatif, sous la forme d'une épaisse couche argileuse, connue sous le nom de *dièves*, et sans laquelle la plupart des exploitations eussent été inabordables. Nous avons vu, en effet [1], quelle lutte formidable le mineur doit soutenir, pour les traverser avec une simple avaleresse; et la pensée de s'étendre, dans de semblables conditions, par une véritable exploitation, ne se présente même pas à l'esprit. D'innombrables trous de sonde ont criblé les dièves, pour chercher le terrain houiller. Quand on le rencontre, et que l'on doit, dès lors, s'attendre à voir des exploitations se développer dans cette région, il convient de ne pas s'en rapporter à la plasticité des dièves pour refermer le trou abandonné quand il n'est pas tubé, mais de le boucher, dans tous les cas, sur une hauteur suffisante, avec du béton hydraulique.

892 — *Mines sous-marines.* — Il est un cas fort intéressant, pour lequel la conservation d'un puissant massif de protection s'impose avec une nécessité évidente. C'est celui des mines sous-marines. Avec une épaisseur suffisante pour l'estau réservé en couronne, et une nature favorable des terrains, la présence de la mer, effrayante pour l'imagination, n'apportera en réalité aucune complication. Il faut signaler cependant l'impossibilité où l'on se trouve alors, de recouper l'aval-pendage des couches qui plongent sous l'océan, par des puits dont l'emplacement tomberait en pleine mer, et la nécessité de suivre l'exploitation en vallée, avec des tractions mécaniques [2]. Mais il s'en faut de beaucoup que les mineurs aient toujours observé, à cet égard, les règles de la prudence, et l'on pourrait citer, au contraire, des exemples d'une incroyable témérité.

A la côte du Cumberland [3], la mine de Huelcock, située dans la province de Saint-Just, s'avance sous la mer à 150 mètres du rivage. L'épaisseur de la couronne s'y trouve réduite, dans certai-

[1] Tome I, p. 337.
[2] Tome I, p. 738.
[3] Bergeron, *Association française pour l'avancement des sciences*, congrès de Lyon, 1874, p. 162.

nes parties riches, au chiffre inimaginable de $1^{m},20$. On entend alors nettement le roulement des galets agités par la houle. Les mineurs y sont obligés de se défendre contre les infiltrations, en calfatant les fissures de la roche, comme on le ferait pour les flancs d'un navire. On n'y est cependant, en définitive, véritablement gêné que par des venues d'eau douce à travers le mur.

Les conditions sont analogues à la mine de plomb de Perran-Zabuloc. A la côte de Cornwall, la mine de Botallach s'avance

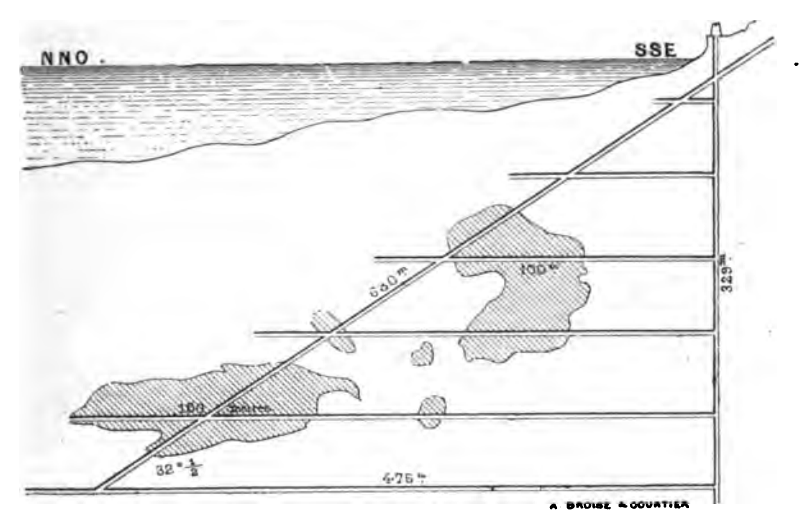


Fig. 570. Mine sous-marine de Botallach (Cornwall).

à 640 mètres au large (fig. 570), celle du Levant plus loin encore. A Whitehaven, les galeries s'éloignent, sous la mer d'Irlande, à une distance de la côte qui mesure en ligne droite 3600 mètres. Bien que l'on s'y trouve à 240 mètres au-dessous du plan d'eau, l'Administration impose, pour l'exploitation, la méthode des piliers abandonnés (1). Une partie du bassin de Newcastle plonge sous la mer du Nord (2). Il en est de même, dans le South-Wales, pour la houillère de Llanelly, dont les travaux se trouvent déjà à 1400 mètres au

(1) Tome I, p. 412.

(2) Soubeyran (*Annales*, 8e, I, 448). — Greenwell. Discours d'ouverture du congrès de la Société pour l'avancement des sciences à Newcastle.

large, sous le canal de Bristol (¹). La houillère d'Arnao étend ses chantiers sous la mer Cantabrique, à 550 mètres au large, et ses reconnaissances jusqu'à 2 kilomètres. La puissance est de 8 mètres et la couronne est formée de 50 mètres, au moins, de schiste argileux (²).

893 — On a rencontré (fig. 571, 572), sous les eaux de la baie de Restronguet, près Truro (Cornwall) (³), un dépôt d'alluvion d'étain

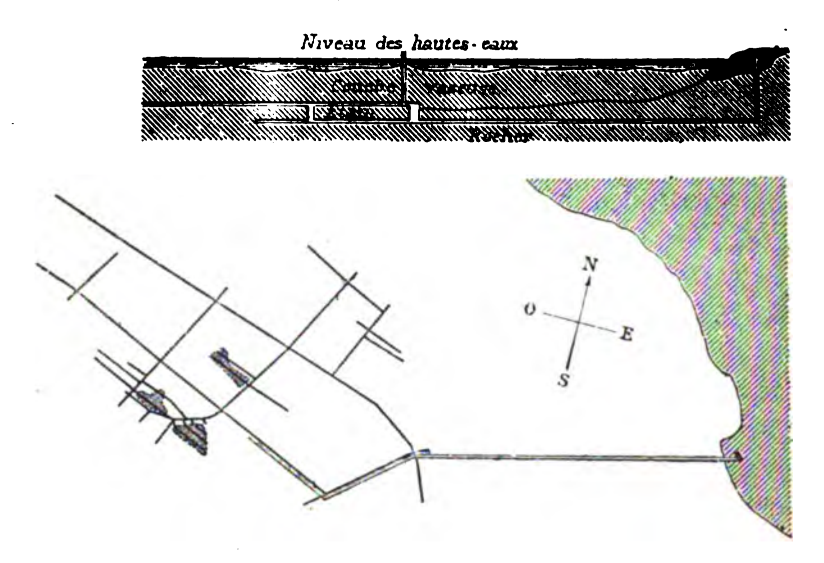


Fig. 571 et 572. Mine d'étain sous-marine, baie de Restronguet (plan et coupe verticale).

aurifère, présentant de $0^m,90$ à $2^m,10$ de puissance, et reposant directement sur la roche, avec un recouvrement de 18 mètres environ de boue et de sables. Sa richesse, très variable, oscille entre 0,1 et 15 °/₀ en oxyde d'étain.

On avait d'abord suivi ce gisement, en refoulant la mer derrière de grandes digues, qui ont été rompues par une tempête en 1800, et dont on retrouve encore les traces. L'exploitation a été reprise en 1871 par la voie souterraine. Un puits de $23^m,40$ de profondeur et $1^m,80$ de diamètre a été, pour assurer l'aérage, foncé en

(¹) Lecornu (*Annales*, 7ᵉ, XIV, 360).
(²) Tome I, p. 525, note 1.
(³) Taylor, *Bull. Soc. d'enc.*, 3ᵉ, II, 310. — Crozat, *CRM*, avril 1876, 12.

pleine mer, au milieu même de la baie. Le cuvelage, en fonte, a été enfoncé à la trousse coupante à l'aide de charges qui atteignaient 250 tonnes. On les amenait à la mer haute, dans des barques que l'on amarrait sur la tête du cuvelage, de manière à les y faire porter de tout leur poids à la marée basse. La nature vaseuse du fond et le peu d'épaisseur de la couronne obligent à boiser très solidement les galeries de service. On laisse au moins 9 mètres d'épaisseur, et l'on arrive de cette manière à pouvoir exploiter par éboulement, quelque paradoxal que cela puisse paraître *a priori* dans de pareilles conditions [1]. On s'avance à contre-pente, à partir d'un second puits de 33 mètres, foncé sur le rivage en un point placé au-dessus de la ligne des plus hautes eaux. Ce puits sert pour l'épuisement des infiltrations. Il se trouve à 200 mètres du premier ; mais les travaux s'étendent au large, à une distance plus que double.

§ 2

SERREMENTS ET PLATES-CUVES

894 — *Serrements.* — Lorsqu'une galerie est exposée à fournir un accès à des eaux redoutables, on y établit un barrage qui prend le nom de *serrement* [2]. Ce genre d'ouvrages est de ceux qui demandent le plus de soin. Ils ont, en effet, à résister à des pressions qui peuvent devenir énormes, car chaque mètre carré de surface plane aura à supporter autant de tonnes, qu'il se trouve au-dessus de lui de mètres d'eau en charge. En même temps, le sort de la mine dépend de leur conservation.

[1] Tome I, p. 432.

[2] Gonot. Serrements de la houillère de la Chartreuse (*Annales*, 3ᵉ, IX, 137). — De Reydellet. Serrement à clapet établi au Vigan (*Annales*, 4ᵉ, XIV, 39). — Petitjean. Serrement sphérique (*Bull. min.*, 1ʳᵉ, VIII, 51). — Micha. Serrement sphérique (*Bull. min.*, 1ʳᵉ, X, 11). — Chansselle. Serrement en maçonnerie (*Bull. min.*, XIV, 209). — Manigler. Construction d'un serrement sphérique (*Bull. min.*, 2ᵉ, XII, 555). — Landsberg. Serrement de Diepelinchen (*Rev. univ. d. m. et u.*, 1ʳᵉ, XVIII, 537). — *Zeitschrift BHS*, IV, 146 ; XVII, 65. — *Archives de Karsten*, XIV, 84. — Gätzschmann (*Jahrbuch für d. Berg- und Hütt. Männ.*, 1839, 9). — *Zeitschrift des Vereins deutsch. Ing.*, XIV, 200. — *Œsterreichische Zeitschrift f. B. u. H.*, 1880, 458. — *Berg- und Hütt. Zeitung*, 1865, 185. — *Wochenschrift des Vereins deutscher Ing.*, 1880, 30.

La première préoccupation doit être de se procurer, pour cette voûte, de bonnes naissances, en les pratiquant à la pointerolle et sans poudre, pour ne déterminer aucun ébranlement dans un massif qui doit être absolument résistant et étanche sous les plus grandes pressions. On voit des roches, pourtant très solides, se comprimer sous l'effort qu'elles subissent, et certains serrements avancer tout d'une pièce avant de trouver un appui définitif[1].

Une seconde précaution très essentielle doit être de ne pas laisser d'air emprisonné derrière le serrement, qui doit être exactement baigné par l'eau dans toute son étendue, lorsqu'on le met en charge. Il est, en effet, d'observation fréquente, sans qu'il paraisse facile d'en donner une explication bien satisfaisante, que les serrements rompent quand on a négligé ce soin. On ménage, pour cela, dans l'épaisseur du barrage, un petit canal aboutissant au point le

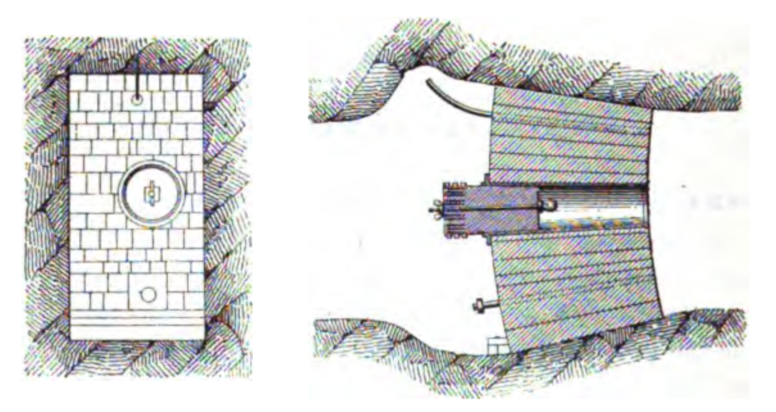


Fig. 573 et 574. Serrement sphérique (coupes transversale et longitudinale).

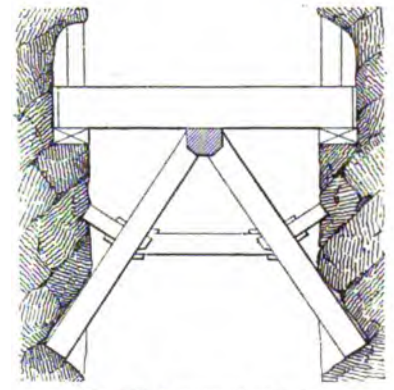
plus haut. Quand on voit, au moment de la mise en charge, l'eau sortir par cet orifice, c'est le signe que tout l'air a été chassé, et l'on y force un tampon de bois à coups de masse.

Les serrements peuvent être faits en pierre, en bois ou en métal. Le premier mode est le moins employé, car les fissures sont alors difficiles à aveugler. Le bois, en raison de son élasticité, finit par

(1) 0m,28 en 15 mois au Creusot. Un suintement de 200 à 300 mèt. cubes en 24 heures, sous forme de brouillard, a fini par s'arrêter complétement par cette mise en serrage.

prendre bien mieux son aplomb. On peut appareiller l'ouvrage en voûte cylindrique ou sphérique (fig. 573 et 574). Je supposerai, pour fixer les idées, qu'il s'agisse d'établir un serrement sphérique.

895 — Après avoir préparé, dans la roche qui forme les parois de la galerie, la culée de la voûte, sous la forme d'un tronc de cône dont la grande base est opposée aux eaux, on commence par passer de ce côté le bouchon central en bois de chêne, qui servira finalement de clef à l'ouvrage. Ce bloc est destiné à s'adapter rigoureusement à l'intérieur d'un tube métallique central, ou *trou d'homme*, de forme tronc-conique, et assez grand pour servir de passage à un ouvrier. Le trou d'homme est mis en place, lorsqu'on a disposé un nombre suffisant de voussoirs sphériques pour lui servir d'assiette. L'on continue ensuite à garnir de voussoirs tout le reste de la section. Quand la voûte est terminée, on procède à un brandissage semblable à celui qui sert pour la pose des trousses picotées ([1]), effectué du côté qui devra être baigné par les eaux. Cela fait, on attache une corde à un anneau fixé à la petite base du bouchon tronc-conique. Les mineurs repassent par le trou d'homme, et attirent ce bouchon à l'aide de la corde, de manière à l'engager dans son logement.


Fig. 575. Serrement en bois.

Lorsque l'on se trouve, pendant l'exécution d'un serrement, trop gêné par l'affluence des eaux, on dispose deux batardeaux destinés à isoler une chambre de travail, qui sera seulement traversée par un tube, servant à faire passer le liquide de l'un de ces barrages à l'autre. Ce tuyau, déplacé au fur et à mesure de l'avancement des opérations, finit par passer à travers le trou d'homme, et ce n'est qu'au

([1]) Tome I, p. 336.

dernier moment qu'on l'en retire pour compléter la fermeture.

Pour les serrements plans (fig. 575), il est bon de recouvrir toute la surface d'une forte toile bien goudronnée afin que, appliquée par la pression de l'eau, sans danger de déchirure, elle concoure au besoin à aveugler les fissures qui auraient pu échapper au brandissage. On assure également la solidité du système en l'arc-boutant sur des jambes de force, qui reportent les pressions contre les parois de la galerie. Il faut toutefois prendre garde, quand on les met en tension, de déterminer des efforts capables de repousser le barrage, dans un moment où une baisse des eaux déterminerait, de l'autre côté, une diminution notable de pression. On peut également disposer l'ouvrage en serrement *busqué*, comme des portes d'écluse.

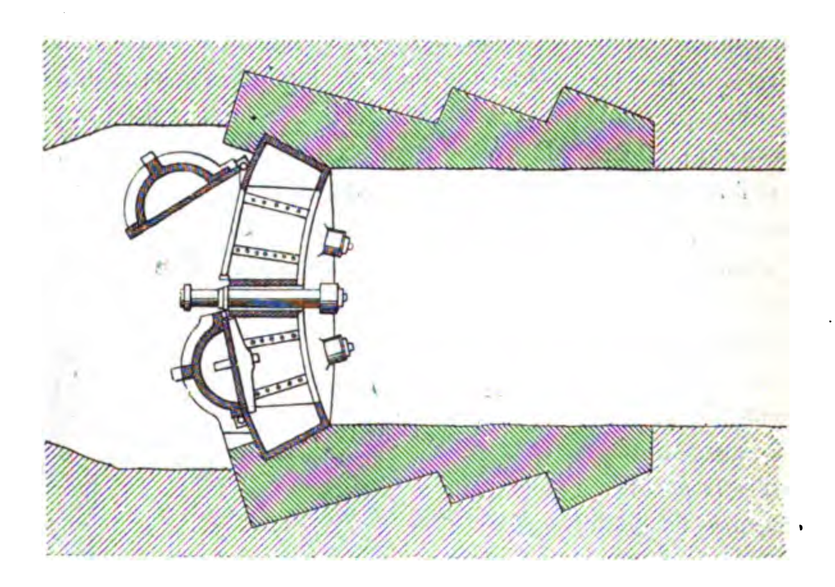
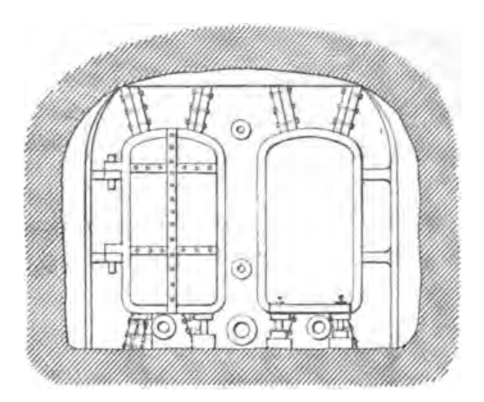


Fig. 576. Serrement métallique (coupe horizontale).

Quant aux serrements métalliques (fig 576, 577), ils sont surtout avantageux comme *en-cas* préparé en prévision d'une invasion subite des eaux. Certaines mines sont en effet plus particulièrement placées sous le coup de cette menace d'une manière permanente, au moins pour quelques-uns de leurs quartiers. A Pontpéan, on barre la section trapézoïdale de la galerie par un cadre en fonte

qui ne laisse libre que le passage rectangulaire de la voie ferrée. Une porte, préparée pour le fermer hermétiquement, lui est assemblée à l'aide de gonds. En cas de danger, on ferme cette porte. Les boulons en saillie, dont elle est munie, passent à travers des trous correspondants, qui ont été ménagés dans le cadre. On les serre par derrière avec des écrous. Puis on calfate les joints qui unissent la porte avec le cadre et avec les rails. Tout le matériel nécessaire pour ces diverses opérations se trouve à pied-d'œuvre, et un agent responsable doit s'assurer périodiquement qu'il est en bon état.


Fig. 577. Serrement métallique (coupe verticale).

896 — Lorsqu'un serrement a été établi, il doit rester l'objet d'une surveillance incessante, en raison de l'extrême importance qui s'attache à sa conservation. Non seulement on a soin d'inspecter l'état de sa surface, mais il faut aussi se renseigner sur la pression qu'il supporte. A cet effet, on a soin de ménager, à travers l'un des voussoirs, un tube de communication fermé par un robinet; et, sur cette tubulure, on peut visser des manomètres à ressort, pour mesurer le degré de tension des eaux.

Il est également essentiel de disposer un robinet de vidange d'une section plus importante. De cette manière, on pourra, au besoin, faire écouler certaines quantités d'eau, si l'on espère soulager par là le serrement. Mais, surtout, on aura ainsi le moyen de faire traverser l'ouvrage par les eaux, s'il arrive, en raison de certaines menaces, que l'on juge à propos de l'abandonner, après en avoir établi un second en arrière. Il est alors, en effet, nécessaire, avant de clore définitivement le nouveau barrage, qu'un homme aille entr'ouvrir l'orifice d'écoulement, afin que l'eau remplisse, dès le

moment actuel, l'intervalle des deux ouvrages. De cette manière, l'ancien serrement ne supporte plus aucune pression, tandis que si on le laissait subsister jusqu'à ce que sa ruine se produisît un jour, on risquerait de voir les eaux arriver, dans ce cas, au contact du nouveau barrage avec une force vive irrésistible, et l'emporter d'emblée, lors même qu'il eût été parfaitement en état de tenir en respect leur pression à l'état statique (1).

897 — *Plates-cuves.* — Les plates-cuves (2) remplissent, pour la fermeture des puits, le même office que les serrements pour celle des galeries. Il convient de les établir, autant que possible, au delà du niveau des parties cuvelées, de peur que la dégradation ultérieure de ces revêtements ne réintroduise les eaux derrière la plate-cuve.

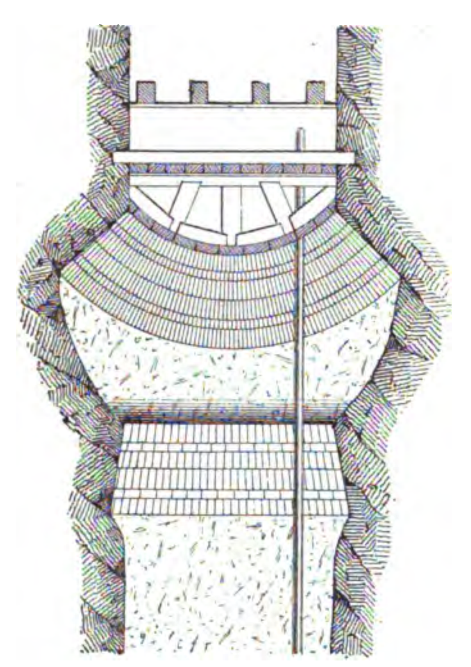


Fig. 578. Plate-cuve en maçonnerie.

La maçonnerie convient mieux, pour l'exécution de ces ouvrages (fig. 578), que pour les serrements, attendu que l'on peut lui adjoindre une épaisse couche d'argile pilonnée, qui arrêtera les eaux, lors même que de légères fissures viendraient à se produire.

La fonte s'emploie aussi très convenablement pour l'exécution

(1) C'est ainsi qu'à la mine de Dos (Engis), on s'est vu obligé de construire jusqu'à 14 serrements successifs, en battant en retraite devant l'effort irrésistible des eaux dans de mauvais terrains. Le dernier barrage a enfin tenu, lorsque l'on n'était plus qu'à 16 mètres du puits qu'il s'agissait de préserver.

(2) Wellekens. Plates-cuves portantes du bassin de Liège (*Annales*, 3e, XII, 553). — Archives de Karsten, XIV, 72 ; XXV, 46.

de ces voûtes, qui présentent une superficie supérieure à celle des serrements.

898 — Une difficulté spéciale se présente pour les mines de sel. En effet, le sel gemme fournit des naissances très solides, mais solubles dans l'eau. D'autre part, les terrains encaissants sont ordinairement formés d'argiles et de marnes sans consistance, qui sont en outre traversées par des veinules de sel. Cet obstacle a été très habilement tourné en 1875 à Varangéville (Meurthe-et-Moselle), par MM. Wender et Chastelain. On a profité de la solidité du sel pour y établir les culées, mais en les préservant du contact de l'eau. En outre, pour prévoir, malgré toutes les précautions prises, l'accès de ce liquide, on s'est arrangé de manière à le saturer à l'avance de chlorure de sodium, afin de le rendre incapable d'en dissoudre de nouvelles quantités, avec corrosion des parois.

A cet effet, on a commencé (fig. 579) par remblayer le fond du puits, pour atteindre une couche de sel solide. Sur cette base, on a disposé une cuve tronc-conique de bon béton, puis une ceinture de briques, destinée à soutenir les naissances de la plate-cuve. Entre ces naissances et les voussoirs métalliques, on a interposé des lames de caoutchouc vulcanisé, pour répartir également les pressions. Quant aux joints des voussoirs entre eux, on s'est contenté de les former d'une mince couche de mastic Serbat délayé dans l'huile de lin. La plate-cuve proprement dite est formée de 5 zones, comprenant chacune 7 voussoirs. Les deux

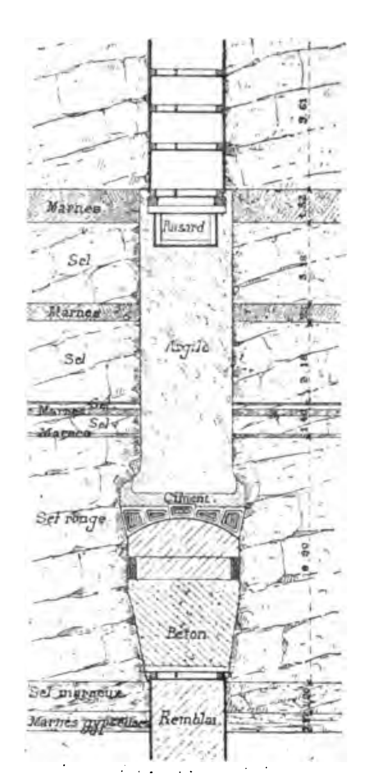


Fig. 579. Plate-cuve de la mine de sel de Varangéville.

bandes qui dessinent les axes de symétrie du rectangle sont formées de *clefs*, et leur point de croisement central, d'une *maîtresse-clef*. Ce rectangle a 4^m,45 sur 5^m,60. Il a été employé, pour les 35 pièces qui le composent, 60 tonnes de fonte et 600 kilogrammes de boulons. Entre les divers voussoirs, on a ménagé, dans le métal, des gouttières, qui ont été remplies de cuivre rouge matté à refus.

Jusqu'à ce moment de la construction, les eaux pouvaient s'écouler librement par un tube ménagé à travers la masse inférieure. Après la pose de la maîtresse-clef, il a fallu épuiser par la partie supérieure. A partir de cet instant, on a exécuté avec le plus grand soin, au-dessus de la masse métallique, une série de cuvettes de ciment concentriques relevées le long des parois d'une manière de plus en plus accusée, en vue d'en éloigner tout accès de l'eau. On les a encore surmontées d'une épaisseur de 12 mètres d'argile pilonnée, choisie avec soin, de manière à être absolument exempte de sel, pour ne fournir aucun passage au liquide. Enfin l'on a placé par-dessus une masse importante de sel de rebut, afin que l'eau, ainsi saturée, et par cela même devenue plus lourde, n'eût plus aucune tendance au renouvellement [1].

§ 3

CAPTAGE

899 — Lorsque toutes les précautions ont été prises pour réduire à la dose inévitable la quantité d'eau qui pénètre journellement dans les travaux, il y a encore lieu, pourvu que la complication que cette mesure entraine ne dépasse pas son utilité (ce qui est, à la vérité, le cas ordinaire), de chercher à conserver à chaque étage ses propres eaux, en les réunissant dans une bâche spéciale, d'où elles seront élevées directement au jour, sans se rendre au fond, ce qui augmenterait d'autant le travail destiné à les en relever [2].

[1] On trouvera plus loin (n° 1228) un exemple remarquable d'une plate-cuve exécutée sous l'eau, et dans les conditions les plus difficiles.

[2] Nous avons déjà vu (tome I, p. 281), que l'on a soin spécialement de capter, de distance en distance, les eaux qui suintent sur les parois des puits, avant qu'elles se résolvent en pluie (Dorlhac, *Bull. min.*, 1re, VIII, 133).

Il peut même arriver, dans certains cas, que ce captage échelonné des eaux permette de créer, en les évacuant ultérieurement par une galerie d'écoulement, des forces hydrauliques d'une certaine importance, pour actionner quelques appareils accessoires de l'intérieur (¹).

900 — Le lieu de réunion, ordinairement unique, de toutes les eaux, est naturellement le point le plus bas des travaux, c'est-à-dire le pied du puits d'*épuisement* ou d'*exhaure*. On appelle cette cavité le *puisard*, et quelquefois le *bouniou*. Il suffit, pour que les eaux s'y concentrent d'elles-mêmes, de leur offrir partout des pentes descendantes. Ordinairement ces pentes existent naturellement, et l'on a seulement à veiller à ce que des rigoles bien tenues, ménagées sur le côté des galeries, en assainissent la voie ferrée.

Cependant il peut se trouver des poches secondaires, au fond desquelles les eaux se réuniraient sans pouvoir en sortir. Le mieux est alors de les mettre en communication, s'il est possible, avec un étage inférieur, au moyen d'un coup de sonde foré au point le plus bas de cet ouvrage en vallée (²).

A défaut de ce moyen, il faut leur faire franchir le seuil qui isole cette dépression. On peut d'abord avoir recours au *baquetage*. Deux hommes portent alors des cuveaux pleins d'eau, à l'aide de brancards, si le débit est peu considérable, la distance courte, la rampe un peu raide. Lorsque les conditions sont inverses, on dispose dans la galerie montante des chéneaux à contre-pente, c'est-à-dire descendants. Un manœuvre relève alors, à la tête de chacun de ces canaux, l'eau qui arrive, par son écoulement naturel, au pied du précédent.

Fig. 580.
Pompe volante.

(¹) Au puits Saint-Pierre du Creusot on a capté, à 267 mètres de profondeur, une venue d'eau, variant entre 2000 et 3000 mètres cubes en 24 heures, afin de la faire travailler sur une hauteur de 85 mètres, dans le moteur qui sera décrit plus loin (n° 976).

(²) Tome I, p. 135.

On peut également se servir de *pompes volantes* (fig. 580) à bras, ou à cheval, mais on rentre ainsi plutôt dans les *moyens d'épuisement secondaires* (chap. XL) que de captage proprement dit.

Notons encore, pour revenir aux appareils automatiques, l'emploi du siphon, qui permet, une fois qu'il a été amorcé, de remonter les eaux, à la double condition que ce ne soit pas de plus de 10 mètres, hauteur qui mesure la pression atmosphérique, et que son débouché soit inférieur au niveau du bief qu'il s'agit de vider.

901 — Le siphon a été employé dans des conditions très intéressantes par M. de Saint-Ferréol, dans l'établissement balnéaire d'Uriage ([1]).

En vue d'augmenter le débit de la source minérale par l'abaissement de son point d'émergence, on a réavalé, de 8 mètres, le puits

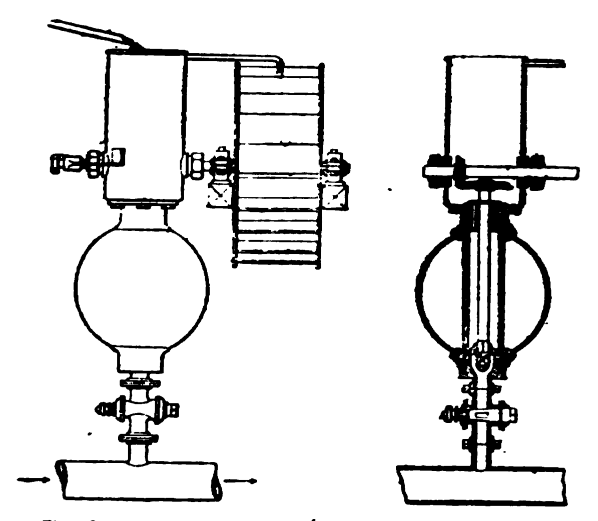


Fig. 581 et 582. Siphon d'Uriage (Élévation et coupe verticale).

pratiqué dans le calcaire noir à bélemnites. De plus, afin d'éviter de percer, pour le rejoindre, une nouvelle galerie horizontale, on a profité de celle qui existait déjà au niveau supérieur, sur 300 mètres de longueur, pour y établir un siphon débouchant aux bains, à

([1]) Haton de la Goupillière (*Bull. Soc. d'enc.*, 3e, III, 277).

17 mètres plus bas. Mais il est alors arrivé que la dépression produite au point maximum, y déterminait le dégagement des gaz dissous dans l'eau, en désamorçant fréquemment l'appareil. Cette difficulté a été conjurée au moyen d'un *purgeur automatique*.

Il se compose (fig. 581, 582) d'une sphère creuse que deux tiroirs circulaires, tournant respectivement autour de ses deux rayons verticaux, mettent en communication successivement avec l'atmosphère, à travers un vase supérieur, ou avec l'intérieur de la tubulure branchée sur le point maximum du siphon, de manière à évacuer les gaz qui encombrent ce dernier. Le mouvement alternatif de ces tiroirs est déterminé automatiquement par une roue à godets non centrée, que son poids rappelle dans une position d'équilibre, mais qui chavire périodiquement par l'action d'un filet d'eau, réglé à volonté, à l'aide d'un robinet. Ce courant commence par passer à la partie supérieure du vase qui surmonte la sphère, de manière à le maintenir toujours plein, malgré ses pertes, employées à remplir, dans la sphère et le siphon, l'espace laissé libre par l'échappement des gaz. Le surplus de ce courant atteint alors la roue, et se déverse dans ses godets, du côté opposé à celui du centre de gravité. Leur remplissage, en créant un porte-à-faux, détermine le basculement, qui les vide de nouveau et permet à la roue de se remettre en place.

902 — La masse réunie par le captage dans le cours de vingt-quatre heures constitue l'*entretien d'eau* de la mine [1]. Le puisard doit être capable de la contenir entièrement. Il est même bon, si les circonstances s'y prêtent, de lui adjoindre des réservoirs accessoires, pour prévoir le cas de crues exceptionnelles, ou de réparation pro-

[1] L'entretien d'eau de la mine de Pontpean a dépassé, par moments, le chiffre de 4500 mètres cubes. Celui de la mine Thomson (Nevada), en vue duquel a été calculée la grande machine de Davey, est de 3300 mètres cubes, mais il devra être élevé à une hauteur de 1200 mètres, considérée comme la limite future des travaux (*Engineering*, 17 novembre 1876, p. 425). L'avaleresse de Ciply (Belgique) a fourni, à certains instants de son fonçage, 36 000 mètres cubes d'eau par jour. L'avaleresse n° 1 de Marsden (Durham) en 1876, arrêtée par une venue de 70 000 mètres cubes en 24 heures n'a pu passer qu'avec le système Chaudron. La houillère de Saint-Helens (Lancashire) extrait 10 tonnes d'eau pour 1 tonne de houille. La compagnie des Bouches-du-Rhône, dont le bassin est particulièrement tourmenté par les eaux, possède des moyens d'épuisement pour plus de 47 000 mètres cubes par vingt-quatre heures.

longée des pompes. Ils permettent également de clarifier, dans une certaine mesure, les eaux par leur stagnation. On a d'ailleurs soin de disposer, avant l'arrivée dans ces bassins, deux barrages. Le premier, installé en déversoir, retient dans le fond les corps lourds entraînés par le courant; le second, sous lequel le liquide est obligé de passer, arrête les objets flottants. Si la nature des eaux l'exige, en même temps que la délicatesse des appareils d'épuisement, on emploie des moyens de clarification plus complets, tels que des toiles métalliques.

L'importance de l'exhaure d'une mine se trouve déterminée par le double chiffre de l'entretien d'eau et de la profondeur du puisard au-dessous de la surface. On doit prendre, pour la première de ces données, non une moyenne, mais le maximum probable, afin de se trouver toujours en état de maîtriser l'inondation.

Il peut arriver que plusieurs Compagnies voisines forment un syndicat, ou constituent une Société spéciale, dans laquelle elles prendront des intérêts proportionnels, pour extraire leurs eaux à frais communs. Cette combinaison, prévue par la législation, présente plusieurs avantages. Elle permet d'installer des machines plus puissantes, et, par cela seul, plus économiques qu'une force égale répartie à l'aide d'un certain nombre de machines moins importantes. Si la grande affluence des eaux nécessite deux appareils distincts, ils présenteront, pour les réparations, des facilités que chaque Compagnie n'aurait pu se procurer isolément. Le personnel se trouvera réduit; des discussions, des procès seront évités; les massifs de protection entre les concessions limitrophes, devenus inutiles, pourront disparaître.

Il est essentiel de faire remarquer que le service de l'épuisement ne comporte ni chômage ni interruption prolongée, car les sources qui amènent l'eau n'en admettent pas de leur côté. Il doit fonctionner, lors même que le travail serait momentanément suspendu, sous peine de noyer la mine. L'exhaure est, du reste, un des côtés par lesquels s'est le plus affirmée la supériorité de l'état actuel de l'art des mines, sur les moyens dont disposaient les anciens. Le mineur finissait toujours, autrefois, par s'arrêter devant l'eau, quand il la rencontrait en quantité notable, sans pouvoir lui assurer un écou-

lement naturel. Cette lutte contre les eaux souterraines a été l'occasion de la première réalisation industrielle de la machine à vapeur, et, depuis lors, l'origine de ses plus importants perfectionnements. A cet égard donc, elle mérite doublement d'attirer l'attention.

§ 4

GALERIES D'ÉCOULEMENT

903 — Lorsque la surface topographique est accidentée, et qu'une mine, ou une partie du moins de ses travaux, se trouvent à flanc de coteau au-dessus de vallées adjacentes, il suffit de percer un débouché dans ces vallées, pour assécher toute la zone supérieure par l'écoulement spontané, sans aucun frais proportionnels aux quantités d'eau dont on se débarrasse ainsi, et en se bornant aux dépenses d'entretien de ces *galeries d'écoulement*. La distance à laquelle on a, dans certains cas, été chercher des débouchés, pour assécher ainsi des zones de plus en plus profondes, dans des districts dont l'importance justifiait de tels efforts, a atteint des chiffres gigantesques dont je citerai quelques exemples :

A Schemnitz, la galerie Joseph II a 18 kilomètres de longueur, $2^{m},60$ de largeur, 3 mètres de hauteur. Son percement a duré 107 ans.

Au Hartz, la galerie Ernest-Auguste présente 23638 mètres de développement à 408 mètres de profondeur, sur $1^{m},75$ de large, $2^{m},60$ de haut et un demi-millimètre de pente par mètre (1).

Dans le bassin du Mansfeld, la galerie Schlüsselstollen a

(1) On trouve dans ce massif métallifère, en s'enfonçant à partir de la surface, l'ensemble suivant :

GALERIES.	PROFONDEUR.	LONGUEUR.	DATES.
Frankenscharnerstollen. . . .	76	8864	milieu du seizième siècle.
Oberer Wildemannerstollen . .	120	9168	1535-1685.
Tiefe Wildemannerstollen . . .	146	9200	la plus ancienne de toutes.
Tiefe Georgstollen	298	19000	1777-1799.
Ernst-Auguststollen	408	23638	1851-1864.

31 800 mètres de long. Son percement, commencé en 1809, s'est terminé en 1879 (1).

A Freyberg, la galerie Rothschönberger atteint une longueur de 47504 mètres, avec 1m,50 de largeur, 3 mètres de hauteur et un demi-millimètre de pente (2).

904 — Parfois des Sociétés spéciales se sont créées, pour entreprendre le percement d'une galerie destinée à assécher plusieurs concessions distinctes, qui deviennent ses tributaires. La Compagnie Sutro a recoupé ainsi le grand filon du Comstock, à 600 mètres de profondeur, au moyen d'un tunnel de 6147 mètres de longueur en travers-bancs, non compris le développement en direction dans le filon. On lui a donné une section exceptionnelle de 3m,65 de hauteur sur 4m,85 de largeur, pour effectuer en même temps par cette voie la ventilation et le roulage.

Il est, depuis longtemps, question de relier à la Méditerranée le bassin de lignites de Fuveau, dont l'exploitation est excessivement gênée par les eaux que lui amènent ses moulières. La galerie, qui aboutirait au niveau même de la mer, présenterait une longueur totale de 37 kilomètres, en ajoutant au travers-bancs direct le développement de ce remarquable drainage à travers le bassin des Bouches-du-Rhône (3).

Il existe également un projet de percement de 13 kilomètres qui, en partant du niveau de la mer près d'Iglesias (Sardaigne), recouperait aussi profondément que possible les filons de calamine du groupe de Monteponi.

On a également construit des galeries d'écoulement pour vider, en un temps suffisamment long, mais une fois pour toutes, sauf à maintenir ensuite la communication ouverte, de vastes étendues

(1) Ce district présente plusieurs galeries d'écoulement :

Fröschmühlenstollen, près le château de Mansfeld.	13 600
Zabenstedtstollen, près Grossörner.	16 900
Schlüsselstollen, près Friedeburg	31 800

(2) Capacci (*Rev. univ. d. m. et u.*, 2e, IX).

(3) Cette question a été l'objet d'une intéressante étude de M. l'ingénieur en chef des mines Villot (*Annales*, 8e, IV, 61). — Dieulafait, *Comptes rendus de l'Académie des sciences*, LXXXVIII, 351).

d'eau telles que le lac Lungern dans l'Underwald, et le lac Fucino dans les Abruzzes (province d'Aquila). L'émissaire de ce dernier avait été déjà réalisé par les anciens sous le règne de l'empereur Claude, mais l'écoulement s'était trouvé arrêté par un éboulement. L'opération a été reprise avec succès dans ces derniers temps. La galerie présente 6300 mètres de longueur, avec une largeur de 4 mètres, une hauteur de $5^m,76$ et une pente de un millième (1).

905 — L'avantage de l'asséchement sans machines de tout l'amont-pendage de la galerie d'écoulement suffirait à justifier de tels efforts. Mais il n'est pas le seul que procurent ces immenses ouvrages. On leur doit en même temps une atténuation importante de l'épuisement de l'aval-pendage lui-même, puisque l'on n'a plus alors à relever ses eaux que jusqu'au niveau de la galerie.

J'ai fait remarquer déjà (2) que ces percements permettent, s'il y a lieu, de se procurer une force motrice, en recueillant le travail développé par la descente, à travers toute la hauteur des travaux, de courants de surface dont la sortie s'effectuera par la galerie, après qu'on les aura introduits par la partie supérieure.

L'aérage naturel y trouve lui-même son compte (n° 1100), puisque l'on dispose alors d'orifices séparés par une différence de niveau aussi grande que le permet l'emplacement du gîte.

Ajoutons encore que ces cheminements à travers des régions inexplorées constituent un important moyen de recherche, et que de nouvelles découvertes rencontrées sur leur passage pourront, dans certains cas, rémunérer, au moins en partie, les sacrifices faits pour leur exécution.

Parfois enfin, à la vérité dans des cas absolument exceptionnels (3), les galeries d'écoulement ont été utilisées pour la navigation souterraine et le sortage des produits.

906 — Ces ouvrages, pour offrir une durée indéfinie, devront toujours être solidement muraillés, et garantis par des massifs de

(1) Durand-Claye (*Bulletin de l'Association scientifique de France*, n° 526, p. 133).
(2) Tome I, p. 772.
(3) Tome I, p. 650.

réserve contre les mouvements capables de les ébranler, en déterminant des infiltrations dans les étages inférieurs. Pour le même motif, on établira ces galeries au mur, plutôt qu'au toit des gîtes. Elles seront l'objet d'une surveillance et d'un entretien attentifs, effectués au moyen d'un plancher mobile que l'on établit au-dessus de la cunette d'écoulement, disposition qui exige, pour le percement, une hauteur supérieure à celle des conditions ordinaires.

Ces grands ouvrages se rencontrent moins fréquemment dans les mines de charbon que pour les massifs métallifères. Dans le premier cas, en effet, la dépense de combustible présente moins d'intérêt, car on affecte à la consommation des machines d'épuisement des charbons inférieurs, ou même de rebut, qui seraient difficilement acceptés par le commerce. En outre, il arrive souvent que les filons se concentrent dans des contrées montagneuses, présentant des reliefs plus accidentés qu'un grand nombre de bassins houillers. Nous en avons cependant cité, pour les charbonnages, de remarquables exemples (¹).

Il convient de noter en terminant, que les moyens actuels de perforation mécanique sont de nature à faciliter beaucoup de semblables créations, et surtout à les faire aboutir dans un délai rapproché ; tandis que, pendant le moyen âge, d'immenses longueurs ont été, comme le montre l'état des parois, pratiquées à la pointerolle à travers des formations d'une extrême dureté.

(¹) Worsley, Walkdenmoor, projet Dyèvre (*ibid.*); projet de Fuveau (n° 904).

CHAPITRE XXXVIII

POMPES DE MINES

—

§ 1

ENSEMBLE DE L'APPAREIL

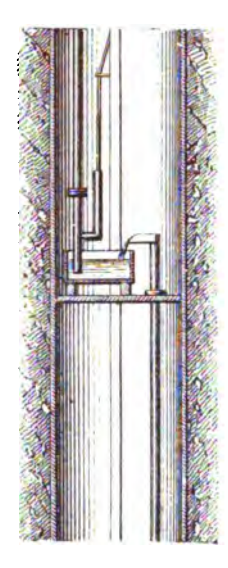
907 — *Répétitions.* — Nous suivrons, pour l'étude des appareils d'épuisement, le même ordre que pour l'extraction, en décrivant en premier lieu la *pompe* qui sert à effectuer l'élévation de l'eau, et réservant pour le chapitre suivant l'examen du *moteur* destiné à la mettre en action.

Les pompes de mines appartiennent à deux types fondamentaux, suivant qu'elles sont disposées *en une seule travée* ou *en répétitions*.

Dans le premier mode, un tuyau unique amène les eaux, sans discontinuité, du fond au jour. Dans le second (fig. 583), la hauteur est fractionnée en plusieurs travées, marquées par autant de bâches, entre lesquelles fonctionnent des pompes distinctes. Chacune d'elles prend l'eau dans la bâche où vient de l'amener la pompe inférieure, et l'élève jusqu'à celle qui forme le pied de la pompe supérieure.

L'établissement des pompes en répétitions apporte évidemment une grande facilité, en permettant de réduire à volonté la hauteur effective de chaque appareil, qui est ordinairement de 50 à 100 mètres, et, le plus souvent, de 60 à 70 mètres. Mais, en revanche, il a l'inconvénient de multiplier, en même temps que le nombre des pompes distinctes, celui des organes qui les constituent, c'est-à-dire, à la fois, leur prix coûtant, leur entretien, et les chances de déran-

gement. De plus, toutes les pompes sont naturellement obligées d'aller du même train, et de se régler, pour cela, sur la marche de la plus mauvaise. Chacune d'elles, en effet, ne saurait élever plus d'eau, qu'il n'en arrive à son pied, et, d'autre part, elle ne doit pas non plus déverser dans la bâche supérieure, un débit plus grand que n'en peut extraire la pompe qui lui fait suite, sous peine de produire sur ce point une accumulation pleine d'inconvénients.



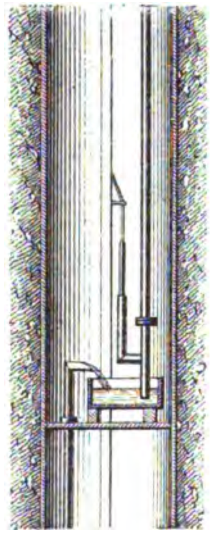


Fig. 583.
Pompes en répétition.

Le principe de la pompe unique évite ces divers inconvénients, mais, en revanche, il détermine des pressions gigantesques, mesurées par autant d'atmosphères que la hauteur de la mine comprend de décamètres. Au contraire, avec les répétitions, le bief inférieur reprend, à chaque bâche, la pression barométrique (¹). Ce type, qui a pris en Angleterre une certaine extension, s'est peu répandu sur le continent. Cependant, on en peut citer des exemples remarquables. La pompe Saint-Pierre du Creusot présente une colonne d'eau de 352 mètres de hauteur ; à la pompe Sainte-Marie (Montceau-les-Mines), une première répétition de 30 mètres est suivie de la pompe principale de 390 mètres (²) ; aux salines d'Illsang, près Berchtesgaden (Salzkammergut), on élève d'un seul coup 370 mètres, ce qui est beaucoup plus encore que dans le cas précédent, car, au lieu d'eau pure, il s'agit de *saumure* concentrée, qui détermine une pression de 46 atmosphères.

(¹) Principe analogue à celui qui a été présenté, bien que d'une manière abstraite, pour l'extraction, au point de vue de la trop grande surcharge des câbles (page 5, note).

(²) Audemar, *Mémoire sur la machine d'épuisement intérieur de Montceau* (*Bull. min.*, 2ᵉ, I, 437).

908 — *Pompes aspirante, foulante, élévatoire.* — Les pompes peuvent se classer suivant un point de vue absolument différent, relatif à leur mode d'action. Il en existe, sous ce rapport, trois types fondamentaux que l'on désigne sous le nom de pompes *aspirante, foulante* ou *élévatoire*. Elles sont représentées *théoriquement* par les figures schématiques 584, 585, 586, 587, sur lesquelles on a adopté la convention de représenter toutes les soupapes comme ouvertes à la fois, afin de montrer le sens de leur jeu, bien que cette simultanéité soit, bien entendu, inadmissible.

Dans la pompe aspirante (fig. 584), le piston P tend à laisser le vide au-dessous de lui, dans l'espace qu'il *engendre* par son ascension. L'eau y pénètre donc, en soulevant le clapet *a*, en raison de la pression atmosphérique qui s'exerce sur la surface libre du bief inférieur A. Mais l'élévation qu'elle atteint ainsi ne saurait dépasser 10 mètres, et reste même, dans la pratique, sensiblement inférieure à cette limite. En même temps, le piston soulève l'eau qui le surmonte, et dont le poids maintient la soupape *b* appliquée sur son siège. Ce liquide se déverse par la tubulure B, dans une bâche préparée pour le recevoir.

Lorsque le piston P redescend, le clapet *a* retombe sur son siège, en raison de son poids et du refoulement de l'eau. La tension ainsi développée soulève la soupape *b*, ce qui permet au piston de redescendre, traversé par le mouvement *relatif* de l'eau, qui est, en réalité, stagnante dans le corps de pompe. Le système est alors prêt pour donner un second coup double.

909 — Dans la pompe foulante (fig. 585), le piston P_1 laisse, en montant, le vide au-dessous de lui. La pression du bain dans lequel est plongé le pied de l'appareil ouvre le clapet a_1, et l'eau de ce bief A_1 remplit le cylindre. Pendant ce temps, le poids de la colonne B_1, actuellement immobile, maintient fermée la soupape b_1.

Lorsque le piston redescend, il applique a_1 sur son siège, et, ouvrant b_1, il refoule toute la cylindrée dans la colonne B_1, en forçant la masse liquide qui la remplit de s'élever en conséquence.

910 — Avec la pompe élévatoire (fig. 586), l'ascension du pis-

ton P_2 a pour résultat de fermer le clapet b_2 et d'élever, dans la colonne B_2, la cylindrée qui remplit actuellement le corps de pompe. Pendant ce temps, l'eau de la bâche remplit le vide engendré, en s'introduisant par l'orifice a_2.



Fig. 584. Pompe aspirante (diagramme schématique).

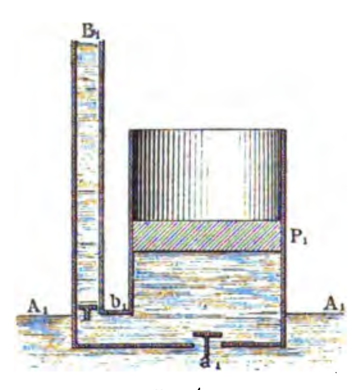


Fig. 585.
Pompe foulante (diagramme schématique).

Quand P_2 redescend, le clapet a_2 retombe sur son siège, et, en même temps, b_2, en s'ouvrant, permet ce mouvement du piston à travers l'eau stagnante. Telle est la pompe élévatoire *à piston creux*.

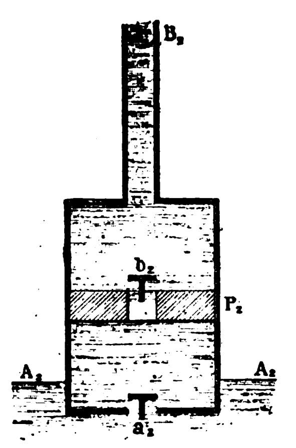


Fig. 586.
Pompe élévatoire à piston creux (diagramme schématique).

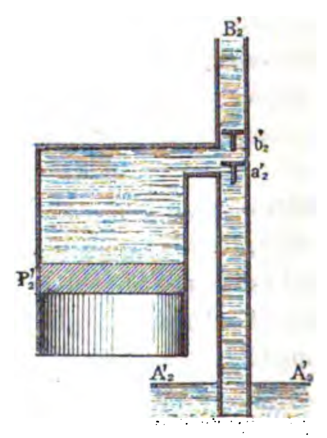


Fig. 587.
Pompe élévatoire à piston plein. (diagramme schématique).

Mais elle peut être également *à piston plein* (fig. 587). Dans ce second cas, le piston P'_2 relève en montant toute la cylindrée dans la colonne B'_2, en ouvrant la valve b'_2. En même temps, cette compression maintient a'_2 appliqué contre son siège.

A la descente, le poids de la colonne referme b'_2, et l'eau de la bâche vient remplir le corps de pompe, en ouvrant par sa pression le clapet a'_2.

911 — D'après cette description élémentaire, on reconnait de suite que le rôle de la pompe aspirante ne peut être, dans les mines, qu'extrêmement effacé. En effet, nous avons dit que sa hauteur doit rester inférieure à 10 mètres, qui forme, en nombre rond, la mesure de la pression de l'atmosphère. Ce chiffre serait évidemment illusoire relativement aux profondeurs ordinaires, et, d'autre part, un pareil fractionnement en répétitions d'une hauteur importante ne se présente même pas à l'esprit. Il semblerait donc que ce type n'a rien à voir dans la question qui nous occupe. Cependant il a un rôle à y jouer, restreint, mais bien déterminé.

On est, en effet, dans l'usage de commencer par établir au fond une première répétition *aspirante et élévatoire*. Elle est formée d'une pompe aspirante (fig. 584), dont le clapet dormant est établi à 4 ou 5 mètres du puisard. Le piston creux élève ensuite, sur 20 ou 30 mètres, les eaux qui l'ont traversé, et c'est à partir de cette bâche de déversement que l'on installe la pompe de mines proprement dite ; soit d'un seul jet, soit en répétitions d'une importance plus notable que la précédente ; soit élévatoire, soit foulante. La raison de ce dispositif est la suivante.

On voit qu'il devient alors aisé de retirer du corps de pompe le piston, et de l'y réengager, en facilitant au besoin son introduction par un léger évasement du tube en forme d'entonnoir. De même on peut, après avoir retiré le piston, aller saisir, par son anse, le clapet dormant avec un crochet, et le sortir par la partie supérieure, pour le redescendre ensuite sur son siège à l'aide du même procédé. De cette manière, il devient facile de visiter et de nettoyer ces organes ; tandis que les types ordinaires rendraient souvent inexécu-

tables le démontage et la visite de cette chapelle, exposée par le niveau de son installation à se trouver noyée.

Quant au choix à faire entre les deux types essentiels, qui devront constituer la partie prépondérante de l'appareil, on pourra, dans certains cas, trouver un motif suffisant dans cette circonstance, que l'effort à exercer sur l'eau se développe, pour la pompe foulante, dans le mouvement descendant du piston, et, pour le système élévatoire, pendant sa course ascendante. Nous verrons, par exemple (n° 933), que cette considération impose absolument ce dernier mode pour les pompes d'avaleresse.

912 — *Allure du fonctionnement.* — Une recommandation commune à tous ces appareils consiste à les mener avec une douceur diamétralement opposée à la rapidité, tous les jours croissante, du service de l'extraction. On sait, en effet, que les résistances passives qui prennent naissance dans le mouvement des liquides augmentent à peu près comme le carré des vitesses. Il faut donc, d'une part, conduire le mécanisme avec une certaine lenteur, et, en outre, donner aux conduites et à tous les passages offerts à l'eau une section suffisante. La vitesse varie, en effet, en raison inverse de cette section, et, par suite, les résistances en raison inverse de la quatrième puissance de ses dimensions transversales.

On trouve un second motif pour aller lentement, dans la nécessité de donner aux clapets le temps de s'ouvrir et de se refermer. Ils n'y sont en effet sollicités, en général, que par l'effort indirect de l'eau, et non par des liaisons géométriques. On risquerait donc, en surmenant le moteur, de voir l'eau filtrer à travers des orifices, dont le clapet devrait être déjà refermé pour s'y opposer, mais n'a pas encore eu le temps d'atteindre son siège.

L'allure varie, en général, depuis 3 ou 4 coups doubles par minute jusqu'à 7 ou 8, bien qu'elle ait été poussée jusqu'à 10 ou 12 coups, ce qui constitue un excès, admissible seulement dans les pompes d'avaleresse. La vitesse d'élévation de l'eau dans les colonnes ne doit pas dépasser $0^m,30$ à $0^m,40$ par seconde. Celle des tiges peut atteindre $1^m,50$ ou $1^m,75$ lors de leur ascension, mais doit rester inférieure à 1 mètre, pendant qu'elles redescendent en

foulant sur l'eau. Il convient cependant d'ajouter que nous signalerons, dans la construction des plongeurs et des clapets, divers dispositifs, introduits récemment en vue de permettre une certaine accélération des mouvements.

913 — En supposant la machine et les pompes dans de bonnes conditions, on peut espérer retirer en eau élevée 70 °/₀ du travail absolu de la vapeur.

Indépendamment de ce *rendement dynamique*, il faut, en même temps, envisager le *rendement géométrique*, c'est-à-dire le rapport de l'eau réellement extraite par coup de piston, au volume théoriquement engendré par le mouvement de ce dernier. Ce rapport se tient en général aux environs de 0,75. On réalise pourtant aussi des valeurs sensiblement plus élevées.

On a même annoncé exceptionnellement des rendements géométriques un peu supérieurs à l'unité. Cette circonstance, qui serait un contre-sens pour le rendement dynamique, d'après le théorème des forces vives, n'est pas inadmissible pour le rendement géométrique, tout en restant assez paradoxale. Elle s'explique par des défauts de fermeture de soupapes en temps utile. Il peut arriver alors que, les deux ouvertures se trouvant libres en même temps, le cylindre soit traversé de part en part par un véritable courant, dont le débit n'a plus alors une relation nécessaire avec le volume de ce corps de pompe, comme si l'eau s'y trouvait rigoureusement confinée par la fermeture des cloisons au moment voulu.

914 — *Machine-cabestan.* — On annexe ordinairement aux pompes de mines un engin spécial destiné à faciliter leurs réparations, car les pièces à manœuvrer sont lourdes et encombrantes. Il porte le nom de *machine-cabestan.*

La plupart du temps il consiste, en effet, en un cabestan, sur les bras duquel on met autant d'hommes qu'il est nécessaire.

Dans les grands appareils d'épuisement, on préfère l'emploi d'une machine à vapeur spéciale avec bobine et câble plat. A la belle pompe Saint-Laurent du Creusot, deux bobines déroulent *en même sens* (à l'inverse de ce qui a lieu dans les machines d'extrac-

tion) deux câbles plats d'inégal calibre. Le plus gros sert à descendre les pièces, et l'autre, les hommes qui les accompagnent dans ce mouvement très lent, afin de le surveiller et de prévenir toute avarie.

Il est également nécessaire d'installer une descenderie d'échelles dans le puits des pompes, avec des paliers à tous les points où la surveillance et les réparations seront directement nécessaires. Le puits doit être, en outre, aussi dégagé que possible de tout encombrement inutile, afin de faciliter les opérations.

Quand la pompe a été réparée à sec, on a soin, à moins d'empêchement, de la réamorcer en versant de l'eau par la partie supérieure, pour éviter les mouvements désordonnés qu'elle tendrait à prendre en fonctionnant à vide.

En dehors de ces grandes réparations, le service périodique des pompiers doit être réglementé avec soin, et placé sous les ordres d'un chef pompier responsable et expérimenté.

Après cette description d'ensemble, il nous reste maintenant à passer en revue les diverses parties de ce vaste appareil, en indiquant les principales variantes dont chacune d'elles est susceptible.

§ 2

DÉTAIL DES ORGANES

915 — *Bâches.* — Les bâches consistent en des cuves de tôle, supportées par des voûtes, ou par d'énormes sommiers que l'on arc-boute à l'aide de jambes de force[1].

En vue des cas où une répétition fonctionnerait avec plus d'activité que celle qui lui fait suite immédiatement, et tendrait, dès lors, à lui amener plus d'eau que cette seconde pompe ne peut en épuiser, on a soin, pour empêcher cet excédent de déborder dans le puits, d'insérer au-dessous du bord de la bâche un tuyau de trop-plein, qui redescend jusqu'à celle de la pompe inférieure. De cette manière, cette eau monte et descend alternativement, d'une

(1) *Zeitschrift BHS*, IX, 185; XII, 26; XXIV, 155.

manière inutile, il est vrai; mais on évite, du moins, les effets fâcheux de son déversement.

On trouve une utile simplification dans un dispositif qui consiste à supprimer les bâches, en se contentant de les remplacer par un prolongement des colonnes ascensionnelles, au-dessus du pied de la répétition suivante. Ces tuyaux sont ouverts à la partie supérieure, et l'aspirant de la pompe suivante s'y trouve directement plongé.

916 — *Aspirant.* — On appelle *aspirant*, ou *reniflard*, l'extrémité inférieure, qui admet l'eau dans la pompe (fig. 588). Cet organe est percé de trous, ou *narines*. Quand les eaux sont basses dans la bâche, on a soin de boucher, avec des chevilles de bois, celles des narines qui émergent au-dessus du niveau, afin de ne pas laisser pénétrer l'air dans la pompe. Il y tiendrait en effet la place de l'eau, et constituerait des espaces nuisibles, dans lesquels il se comprimerait et se détendrait alternativement, au détriment du rendement géométrique (n° 929).

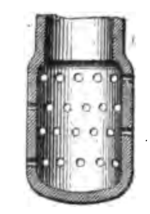


Fig. 588. Aspirant.

917 — *Chapelles.* — On désigne sous ce nom les chambres qui renferment les sièges des clapets (fig. 589). Les portes qui les ferment présentent une assez grande épaisseur, car leur forme plane est peu favorable à la résistance. Elles sont boulonnées sur place, et on les déboulonne quand il y a lieu d'effectuer l'ouverture des chapelles, afin d'opérer la visite des clapets.

Pour faciliter la manœuvre de ces lourdes portes, on a soin de disposer des moufles, à l'aide desquelles les pompiers peuvent multiplier, dans un certain rapport, leur force musculaire.

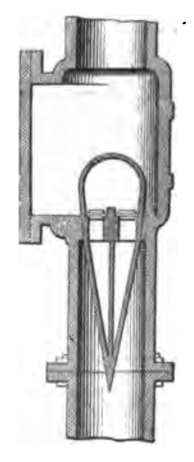


Fig. 589. Chapelle.

918 — *Clapets.* — On tend à donner aux clapets de faibles levées et, en revanche, des dimensions de plus en plus considérables par rapport à celles du piston, afin de diminuer la vitesse du passage de l'eau dans ces orifices, et de permettre de mener la pompe plus rapidement.

Mais, en même temps, on trouve avantage à fractionner cette section totale en un certain nombre n de soupapes, au lieu de n'en avoir qu'une seule. L'orifice est en effet proportionnel au carré du diamètre d, et le poids à peu près en raison de son cube. On a donc, pour la section totale Ω offerte au passage de l'eau, et pour le poids P de l'ensemble, en désignant par A, B, C, des coefficients constants dépendant des formes adoptées :

$$\Omega = nAd^2, \qquad P = nBd^3,$$

d'où l'on déduit :

$$P = C\frac{\Omega\sqrt{\Omega}}{\sqrt{n}}.$$

On voit par là que, à égalité d'ouverture Ω, le poids total du système mobile tend à diminuer, lorsque l'on augmente le nombre n de soupapes.

Les clapets appartiennent du reste, pour leur construction, à des types assez variés.

919 — Le *clapet ordinaire* (fig. 590) comprend d'abord un disque de cuir, de caoutchouc ou de gutta-percha, destiné à se modeler exactement sur son siège. On lui communique de la rigidité, en l'insérant entre deux disques métalliques. La rondelle inférieure présente un diamètre un peu moindre que celui de l'orifice. Elle y pénètre donc, en laissant le cuir reposer sur ses bords.

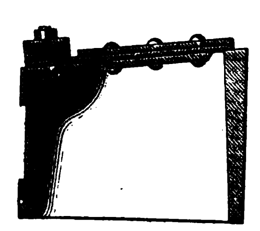


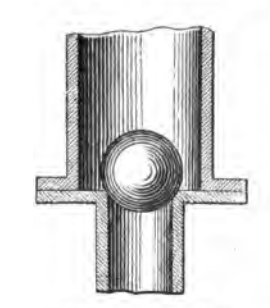
Fig. 590. Clapet de cuir.

Un arrêt fixe empêche le clapet de se soulever au delà d'une certaine inclinaison, afin de prévenir son renversement en arrière.

920 — Le *clapet conique* est entièrement métallique (fig. 589). Une anse permet de l'enlever de son siège. Un guide inférieur très allongé lui permet d'y retomber avec précision. Ces organes se font en bronze, ou, mieux encore, en acier fondu. On arrive ainsi à les alléger, tout en leur donnant plus de résistance. Cette précaution est importante, car on emploie, pour les grandes venues d'eau, de très fortes pompes et d'énormes soupapes, qui s'usent beaucoup par leurs chutes répétées.

Girard avait imaginé, à cet égard, de maintenir le clapet par un faible ressort. La levée s'effectue alors en proportion de la vitesse du piston. Lorsque celle-ci commence à s'amortir, la soupape se rapproche progressivement de son siège par la réaction du ressort, et finit par s'y poser sans choc, au moment où le piston arrive au point mort.

921 — Le *clapet sphérique* ou *postillon* (fig. 591) consiste en une simple sphère métallique, qui peut prendre des oscillations complètement libres, et limitées seulement par des brides, pour l'empêcher d'être emportée trop loin. Cette surface étant identique à elle-même dans toutes ses parties, reste capable, de quelque manière qu'elle retombe, d'obturer exactement l'orifice, dont les bords sont évidés eux-mêmes en forme de zone sphérique.


Fig. 591. Postillon.

On emploie aussi des postillons formés d'une demi-sphère. L'hémisphère supérieur est remplacé par une anse, pour permettre, au besoin, de l'enlever avec un crochet. Au pôle de l'hémisphère inférieur, se trouve adaptée une queue avec contrepoids, en vue d'assurer la verticalité du système.

922 — *Piston.* — Le diamètre des corps de pompe varie depuis $0^m,20$ jusqu'à 1 mètre. Il se tient, en général, aux environs de $0^m,55$. La course du piston s'étend de $1^m,50$ à 3 ou 4 mètres. Ces dimensions ont, dans certains cas, atteint des valeurs démesurées. C'est

ainsi qu'au puits Henri, de Neu-Essen (Westphalie), on a construit un cylindre de pompe de $2^m,22$ de diamètre et $3^m,10$ de course. Il ne marche qu'un seul jour par semaine, en laissant les eaux s'accumuler pendant le reste du temps.

Les anciens pistons de pompe (fig. 592) étaient à garnitures de cuir, ou d'étoupes suifées, que remplacent avec avantage des garnitures métalliques très soignées.

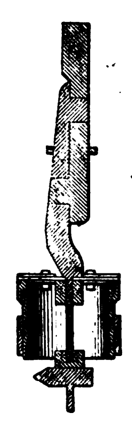


Fig. 592. Piston de pompe.

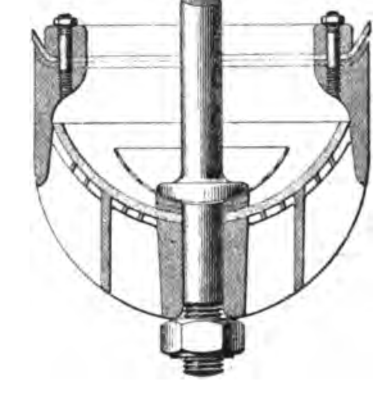


Fig. 593. Piston-soupape Letestu.

Si le piston est creux, il porte au moins deux clapets hémicirculaires, et souvent un plus grand nombre, répartis par zones concentriques étagées, qui se découvrent successivement à partir du haut [1].

Le *piston soupape* Letestu (fig. 593), présente un corps métallique percé de trous. Ces derniers sont obturés par un godet de cuir ou de gutta, attaché autour de la tige. Pendant la descente, l'eau et les troubles passent librement, d'un mouvement relatif, en soulevant le cuir, qu'une cuvette métallique empêche de trop s'éloigner à l'intérieur. Dans la course inverse, la pression applique le godet souple contre le corps du piston, qui se trouve ainsi transformé en une poche imperméable.

(1) Riedler. *Rev. univ. d. m. et u.*, 2e, XV, 111. — *Zeitschrift deutscher Ingen.*, XV, 131.

923 — Le piston *plongeur* (fig. 594) consiste en un cylindre métallique, creux pour plus de légèreté, qui présente un diamètre peu différent de celui du corps de pompe dans lequel il est appelé à jouer. Quand la sortie des eaux se trouve à la partie inférieure de cette capacité, il est important que la différence de diamètre soit réduite autant que possible, afin de chasser l'air qui tend à se loger au-dessus de l'eau. Si, au contraire, l'orifice d'évacuation est en haut, ce qui est préférable au point de vue de l'expulsion de l'air, il convient inversement de laisser entre le piston et le cylindre un jeu d'une certaine importance afin que le mouvement de l'eau soit moins gêné, pour se rendre de la partie inférieure au point de sortie. Il existe d'ailleurs une tendance à augmenter encore cette différence de volume, en effilant la tête du plongeur, comme on le fait pour la proue d'un navire, afin qu'il pénètre dans la masse liquide avec moins de résistance, et que l'on puisse accélérer d'autant l'allure [1].

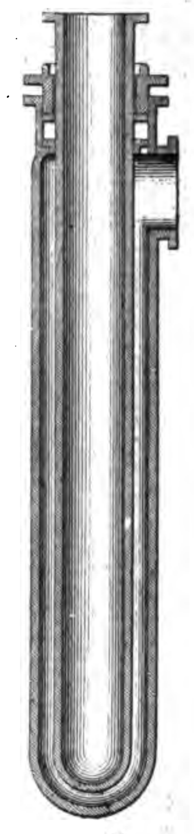


Fig. 594.
Piston-plongeur.

Le fonctionnement du plongeur est, comme on le voit, très différent de celui du piston ordinaire. Ce dernier *engendre* géométriquement le volume du cylindre, en balayant toute l'eau qu'il contient, à la condition que celui-ci soit exactement alésé, pour qu'il puisse y avoir contact entre eux d'un bout à l'autre de la course. Le plongeur, au contraire, vient simplement *encombrer* cette capacité, en expulsant l'eau qu'elle renferme, par suite de son incompressibilité. Mais cet effet ne dépend que du volume du piston, et reste indépendant de la forme du récipient. C'est assez dire que son alésage devient absolument inutile, ce qui est une simplification d'une réelle importance.

(1) Hirsch, *Rapports du jury international sur l'Exposition de* 1878, groupe VI, classe 54, p. 328. — *Revue industrielle*, 19 mars 1884, p. 114.

On accepte, à la vérité, avec ce dispositif, l'inconvénient d'un stuffing-box d'un très grand diamètre, à la vérité toujours visible et accessible, à l'inverse de ce qui a lieu pour les garnitures des pistons ordinaires. En outre, cet organe a moins de tendance à se laisser attaquer par les troubles. Pour cette raison, le plongeur admet des pressions plus élevées et des répétitions moins fractionnées.

Il convient directement aux pompes foulantes. On a également trouvé le moyen de l'employer avec les pompes élévatoires, en lui communiquant un mouvement remontant, à travers le fond inférieur des corps de pompe.

924 — *Tiges de piston.* — Les tiges de piston se font en fer, et sont fixées en porte-à-faux, à l'aide de potences (fig. 595), à la maîtresse-tige qui règne dans toute la hauteur du puits.

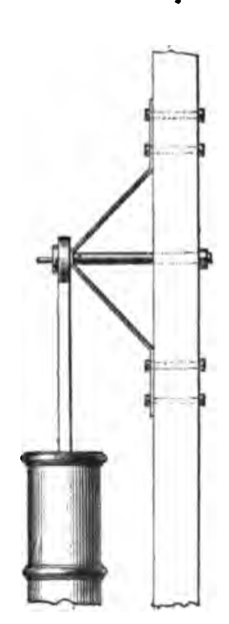


Fig. 595.
Tige d'attache.

On évite cet inconvénient, particulièrement pour les plongeurs des jeux foulants, en bifurquant la maîtresse-tige en forme de cadre, qui embrasse à son intérieur le corps de pompe. Cette condition détermine la largeur dans œuvre de ce cadre. Quant à sa hauteur, elle est égale à celle du cylindre augmentée de la course de la maîtresse-tige. Cette bifurcation s'établit en juxtaposant, l'une contre l'autre, des épaisseurs successives, en quantité suffisante pour rejeter la dernière à la distance voulue de l'axe de symétrie.

Une autre solution consiste à transformer, sur une longueur égale à la course, la maîtresse tige en un fer rond, de solidité équivalente à celle de la section normale. Il traverse de part en part les deux fonds du cylindre, et porte le piston, dans l'intérieur de ce corps de pompe. L'inconvénient de bifurquer la maîtresse-tige est alors remplacé par celui de doubler le nombre des stuffing-box.

925 — *Maîtresse tige.* — La tige maîtresse règne sur toute la hauteur du puits. Le plus souvent, elle est en bois de chêne ou de sapin du Nord. En vue de l'alléger, on lui donne un équarrissage décroissant du haut en bas par mises prismatiques successives, de manière à rapprocher sa forme générale de celle du solide d'égale résistance (n° 721).

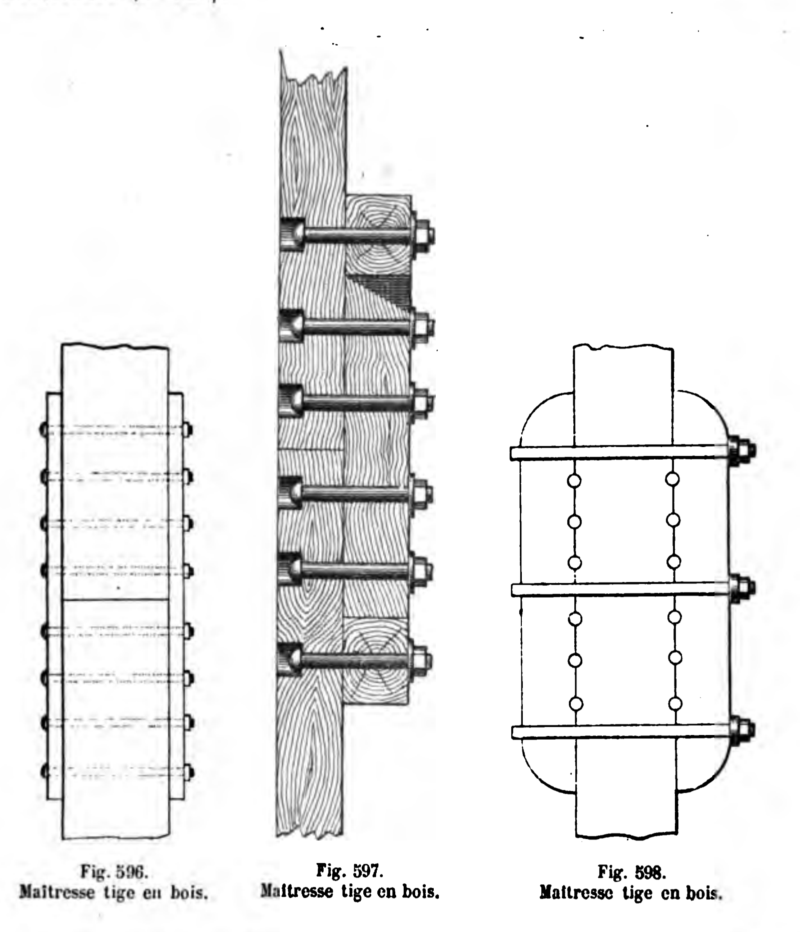


Fig. 596. Maîtresse tige en bois.

Fig. 597. Maîtresse tige en bois.

Fig. 598. Maîtresse tige en bois.

Il est essentiel que les assemblages soient attentivement serrés. Le moindre jeu donnerait lieu à des chocs désastreux, en raison de l'importance des masses en mouvement. Ces joints se font souvent en trait de Jupiter. Il est plus simple de réunir les pièces bout à bout à l'aide de clames boulonnées dans le corps des tiges (fig. 596

et 597), et sur deux files, afin de recouper moins fréquemment les mêmes fibres. On peut même éviter complètement cet inconvénient, en employant des éclisses de bois (fig. 598), d'un équarrissage égal à celui de la tige. Elles sont fortement serrées contre cette dernière, à l'aide d'étriers, et l'on s'oppose encore au glissement en intercalant, à mi-bois, des chevilles d'une section suffisante, qu'il faudrait cisailler pour arracher le joint.

926 — On tend à substituer au bois le fer, et surtout l'acier, en vue d'obtenir plus de légèreté, à égalité de résistance. Cependant l'élasticité et la souplesse du bois méritent la préférence, pour les puits profonds et les allures relativement rapides. Il faut, en outre, remarquer que l'avantage de l'allègement est, dans le cas actuel, moins intéressant qu'en toute autre circonstance. Nous verrons, en effet (nº 939), que le moteur d'épuisement, à l'inverse de toutes les autres machines, que l'on cherche à dégager le plus possible de poids

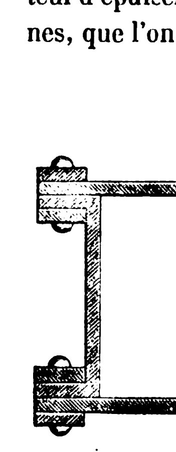


Fig. 599. Maîtresse tige métallique en treillis.

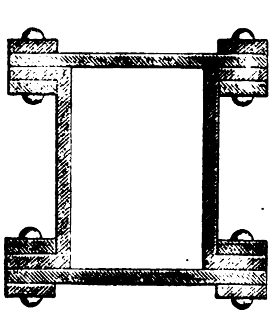


Fig. 600. Maîtresse tige métallique creuse.



Fig. 601. Maîtresse tige métallique cruciale.

inutiles, a besoin, pour son bon fonctionnement, de renfermer des masses tellement considérables, que l'on est quelquefois même conduit à en ajouter d'étrangères, qui ne jouent qu'un rôle de présence, et non de transmission ou de résistance.

Pour donner à ces pièces la plus grande solidité, on les construit en treillis (fig. 599). On augmente également le moment d'inertie

de la section en l'évidant dans le centre (fig. 600), ou en lui donnant une forme cruciale (fig. 601). On réalise ce dernier type en assemblant quatre fers de cornière, avec des disques interposés, qui sont traversés alternativement par des rivets, ou par des vis à tête conique, munies de boulons. Les tronçons sont eux-mêmes reliés les uns aux autres à l'aide d'éclisses, assemblées d'une manière identique aux cornières.

927 — Les maîtresses tiges sont guidées par des moises, avec un faible jeu. Pour éviter l'usure de pièces aussi importantes, il est bon de doubler les parties exposées au frottement, avec de minces planchettes que l'on renouvelle de temps en temps.

De distance en distance, on installe, sous le nom de *parachutes*, de forts sommiers, capables d'arrêter les corbeaux fixés à la tige, en cas de rupture de cette dernière. Pour amortir un choc aussi intense, on a soin de disposer, sur ces sommiers, des doubles de vieux câbles plats en textiles.

928 — *Tuyaux*. — Les colonnes de pompe se font toujours en fonte. Il est arrivé que certaines fontes, de nature poreuse, laissaient filtrer le liquide, quand elles se trouvaient soumises aux énormes pressions dont nous avons donné quelques exemples. On est parvenu à prévenir ces suintements, en injectant dans le métal, à l'aide de la presse hydraulique, des huiles siccatives lithargirées, qui ont pour effet de boucher tous les pores d'après un mode analogue à l'embouage des digues perméables.

Quand les eaux sont acides, la fonte se corrode rapidement. Aussi se voit-on forcé, dans certaines mines de pyrite, d'employer le bronze pour les organes du mécanisme. Quant aux tuyaux, on les préserve à l'aide d'une épaisse couche de peinture; et celle-ci se trouve elle-même défendue contre l'usure due au mouvement du liquide, au moyen d'un doublage en planchettes de bois. On maintient en place ces espèces de douves, à l'aide d'un serrage, que l'on détermine en subdivisant l'une des planchettes rectangulaires en deux trapèzes alternes-internes, comprimés en deux sens opposés, à la manière d'un coin et de son contre-coin.

Les joints sont de la plus haute importance, pour éviter les pertes d'eau ou les rentrées d'air. Ils sont à brides, avec des portées dressées de la manière la plus attentive. Un grain d'orge circulaire permet, pour assurer l'étanchéité, d'écraser du plomb ou de mater du cuivre ou du laiton. On emploie aussi la gutta-percha, la glu marine, ou des mastics composés. Les substances compressibles méritent la préférence sur les assemblages rigoureusement rigides, en vue des mouvements ultérieurs du terrain.

Comme pour les maîtresses tiges, il est bon théoriquement de faire varier l'épaisseur des tuyaux, en le réduisant un certain nombre de fois, de la base au sommet, à l'inverse de ce qui a lieu pour la maîtresse tige. Celle-ci, en effet, travaille par suspension, en se portant elle-même; tandis que la colonne tend à se comprimer sur sa base. On soulage d'ailleurs ce poids, en le faisant porter sur les moises.

929 — *Cloches d'air.* — Il importe de prévenir l'influence destructive des *coups de bélier*, c'est-à-dire de l'ébranlement général qui accompagne la fermeture brusque des orifices. Cette influence est facile à comprendre. En effet, la force vive des masses en mouvement ne peut disparaître que par le développement d'un travail égal au double de sa valeur. Or tout débouché se trouve géométriquement intercepté. Il faut donc que ce soient les parois elles-mêmes qui cèdent, sous un effort qui sera nécessairement énorme, puisque ces déplacements élastiques ne peuvent offrir qu'une étendue inappréciable.

On y remédie par l'emploi de *cloches d'air*, qui renferment une sorte de matelas gazeux, capable, à l'inverse des parois métalliques, de se comprimer dans une mesure importante. Cet air restitue ensuite, par son élasticité, le travail qu'il a momentanément emmagasiné. Cette quantité d'énergie se retrouve donc fidèlement, au lieu de disparaître en s'employant à produire des effets destructeurs. Il y a cependant, à ce moyen de préservation, cet inconvénient, que le piston à vapeur a le temps d'acquérir de la vitesse avant que l'eau s'ébranle, pendant que l'air se comprime. Lorsque celui-ci est mis en équilibre de tension, le liquide se trouve obligé d'épouser

subitement l'allure du piston, au lieu de s'ébranler progressivement avec lui à partir du point mort.

Les cloches sont distribuées sur la conduite de refoulement, et principalement au point de départ, pour régulariser la vitesse d'ascension.

Si l'air, ainsi confiné, vient à s'épuiser par entraînement ou dissolution dans l'eau, sous ces pressions élevées, on le renouvelle, en mettant la cloche à sec à l'aide d'un jeu de robinets. Lorsque cependant la pression est trop considérable, et, par suite, le changement de volume trop accusé, on a la ressource d'employer pour cette compression un *petit cheval* auxiliaire. On a soin de placer ces cloches aux divers points maximum des circuits offerts à l'eau, afin de les faire profiter des quantités d'air, nuisibles en toute autre circonstance, qui s'introduisent dans l'appareil. Il peut même arriver qu'il en survienne ainsi des quantités surabondantes, que l'on se voit alors obligé d'évacuer périodiquement à l'aide d'un robinet de sortie.

§ 3

POMPES RITTINGER

930 — A la suite du type fondamental des pompes de mines dont nous venons de nous occuper, je citerai quelques dispositifs spéciaux, et d'abord la pompe Rittinger, dont le principe a été formulé originairement par Colson (1).

Tout l'ensemble est disposé en ligne droite du haut jusqu'en bas (fig. 602, 603). Les corps de pompe sont mobiles, et suspendus à une maîtresse tige formée de deux fers ronds. Ils se foulent dans leur mouvement contre des soupapes. A la base, se trouve une cavité fixe A. L'eau de la bâche peut s'y introduire par un clapet *a* qui s'ouvre de bas en haut. Une colonne mobile B y pénètre par la partie supérieure, à travers un stuffing-box. Elle-même embrasse,

(1) *Bull. min.*, 2e, VIII, 813, Buisson. — *CRM*, 1879, 174; 1884, 68. — Ponson, *Supplément*, II, 398. — Burat, Exposition de 1878. — *Zeitschrift BHS*, XIX, 60; XXV, 232.

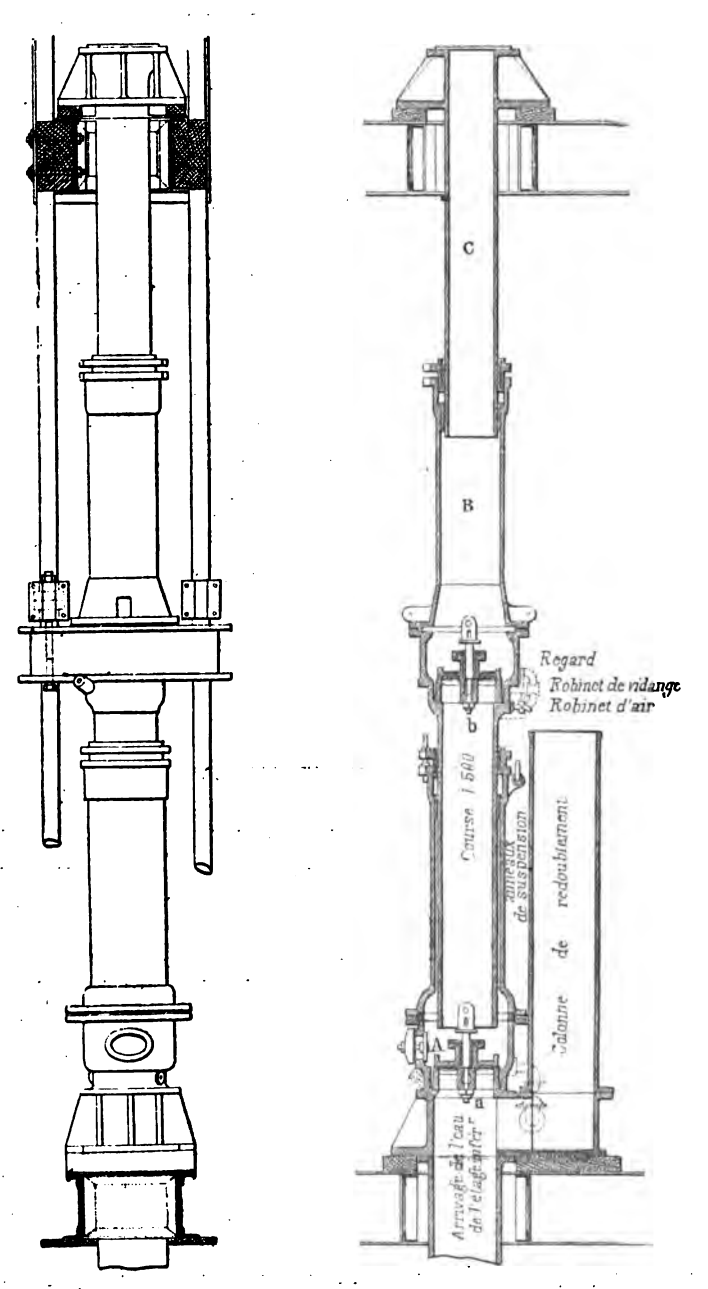


Fig. 602.
Pompe Rittinger (élévation).

Fig. 603.
Pompe Rittinger (coupe verticale).

au moyen d'une autre garniture, un tube fixe C, qui fait partie de la conduite supérieure.

J'appellerai h la course verticale, Ω et ω les sections de B et C. Lorsque le tube B s'abaisse de cette quantité h, il vient occuper, dans la capacité A, un volume Ωh. Il faut donc qu'une quantité égale d'eau abandonne ce récipient A, en passant dans le tube B à travers le clapet b. Une partie, à la vérité, trouve à se loger dans le vide ωh laissé libre par la *sortie relative* de la partie fixe C, pendant la *descente absolue* de B. Mais l'excédent $(\Omega - \omega)h$ doit, en raison de l'incompressibilité de l'eau, faire refluer un égal volume, par le canal C, dans la bâche supérieure.

Au moment où le tube B remonte, la soupape b se ferme, et il n'existe plus aucune communication avec la capacité A, qui emploie ce temps à remplir d'eau, à l'aide du clapet a, le volume Ωh que B y laisse libre par sa sortie. En même temps, le tuyau C rentrant, par un mouvement relatif, à l'intérieur de B, il devient pour cela nécessaire qu'un volume d'eau ωh quitte cette capacité mobile, en refluant à travers C jusqu'à la bâche supérieure.

En résumé donc, on a élevé, pendant la course descendante, un volume $(\Omega - \omega)h$, et, pendant l'ascension : ωh. Le total Ωh reproduit bien la quantité qui, comme nous venons de le dire, afflue, pendant cette dernière phase, de la bâche inférieure à l'intérieur de A.

931 — Il serait facile de s'arranger de manière que les deux courses élevassent la même quantité de liquide en posant :

$$(\Omega - \omega)\, h = \omega h,$$

$$\Omega = 2\omega.$$

Il suffirait donc de faire la section du tube B double de celle de C, ce qui établirait entre leurs diamètres le rapport $\sqrt{2}$.

Mais on peut, plus utilement, se proposer de faire en sorte que l'élévation d'eau $(\Omega - \omega)h$, pendant la course descendante, fasse

équilibre, dans le moteur, au poids P du système mobile. Il suffira pour cela de poser l'équation :

$$P = 1000\,(\Omega - \omega)\,h + F,$$

en représentant par F l'ensemble des résistances passives à la descente.

Comme cette relation renferme deux arbitraires Ω et ω, il reste encore loisible de leur imposer une nouvelle condition : par exemple celle de rendre minimum le travail du moteur, dans le mouvement ascendant. Ce travail comprend d'abord Ph, pour remonter le système; en second lieu $F'h$, pour vaincre les frottements F' de la course ascendante; et enfin $1000\ \omega h.H$, pour élever, en dernière analyse, un cylindre liquide ωh à la hauteur H. Il suffit donc, en supprimant dans cette somme le facteur commun h, d'envisager l'expression :

$$P + 1000\omega H + F'.$$

Après avoir exprimé les résistances passives du mouvement du liquide en fonction des diamètres, on égalera à zéro la dérivée de l'expression ainsi obtenue, ce qui fournira la seconde relation cherchée.

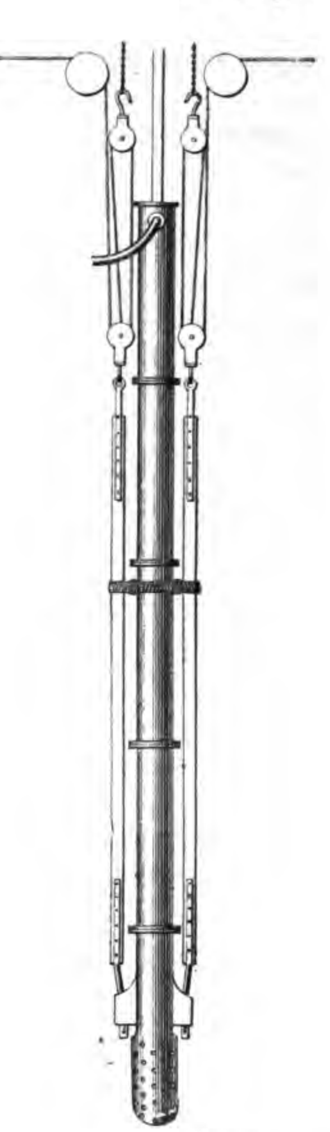
Cette possibilité d'obtenir l'équilibre sans contrepoids accessoires, ou, du moins, avec des contrepoids beaucoup plus restreints que dans le système ordinaire, constitue un réel avantage pour la pompe Rittinger. Elle se recommande également par sa symétrie, qui, en simplifiant les parcours du liquide, permet une allure un peu plus rapide; par l'économie d'emplacement dans le puits; et par la suppression des chapelles. Malheureusement, elle exige un prix de revient relativement élevé.

§ 4

POMPES D'AVALERESSE

982 — Lorsque l'on est aux prises avec les difficultés du fon-

çage d'une avaleresse à travers les morts-terrains aquifères, il est indispensable d'avoir recours aux moyens d'épuisement les plus puissants qu'il soit possible de faire intervenir. En même temps, les circonstances de cette installation sont provisoires, précaires et gênantes. Ces diverses circonstances impriment aux pompes d'avaleresse un caractère particulier, qui les sépare, jusqu'à un certain point, des pompes de mine proprement dites. Les conditions que l'on doit, à cet égard, avoir présentes à l'esprit, sont les suivantes.


Fig. 604. Pompe d'avaleresse.

Il faut d'abord rechercher la légèreté. En effet, le fond étant perpétuellement à l'état d'avancement, ne saurait en aucune façon servir de base à l'appareil. On est donc obligé de suspendre ce dernier par la partie supérieure, ce qui constitue le *jeu volant*, par opposition au *jeu posé*.

Les montages et démontages doivent être faciles, car ils seront fréquents, pour suivre l'approfondissement et réparer toutes les avaries.

La pompe doit pouvoir marcher noyée, avec des venues d'eau aussi irrégulières. La moindre réparation laissera, en outre, monter le niveau dans le puits.

Les eaux à épuiser sont très impures et très chargées, car les parois sont à l'état de dislocation, et il est impossible de songer à aucune clarification.

Les coups de mine peuvent atteindre des organes aussi rapprochés du point d'avancement.

On doit enfin s'attacher à ménager l'emplacement, et à réaliser la plus grande puissance avec le minimum d'encombrement.

933 — Examinons successivement les conséquences de ces principes. On emploie (fig. 604) un jeu formé de tirants susceptibles de s'allonger comme des tiges de sonde, ou des chaînes passées sur des molettes, et amarrées à des treuils sur lesquels elles se trouvent enroulées en provision, pour permettre de descendre la pompe au fur et à mesure de l'approfondissement. Après avoir parcouru de cette manière 30 ou 40 mètres, si l'on rencontre des parois solides, on pose une bâche, et l'on transforme cette première travée en un jeu fixe, relié d'une manière définitive à de forts cadres placés à l'orifice du puits. On continue ensuite, avec un nouveau jeu volant, à suivre la progression du travail.

Il résulte de ce mode d'installation que l'on doit employer exclusivement la pompe élévatoire, en excluant la pompe foulante. Dans la première, en effet, l'action motrice exercée sur les eaux se fait sentir de bas en haut, et tendra par conséquent à soulager les tirants, tandis que le mode foulant comprime l'eau de haut en bas pour déterminer son ascension dans la colonne, ce qui fatiguerait d'autant la suspension.

On supprime la chapelle qui, pour le moindre dérangement, se trouverait noyée, avant que l'on eût pu la démonter. Le piston et le clapet dormant sont retirés par le haut, comme nous l'avons vu pour la pompe de fond, dans les appareils définitifs (n° 911). Les clapets atteignent parfois des dimensions considérables, en raison de la puissance de ces appareils. Le piston Letestu (n° 922) s'adapte convenablement au pompage des eaux impures.

Le corps de pompe, ou la *travaillante*, est très épais et enveloppé de vieux câbles, pour se trouver en état de résister aux projectiles des coups de mine. Cette surépaisseur permet également de l'aléser plusieurs fois, quand sa surface a été altérée par les graviers entraînés dans l'intérieur. Le diamètre est parfois considérable, attendu qu'un gros corps de pompe produit moins d'encombrement

dans le puits, que plusieurs cylindres formant un total égal de volume utile. En même temps, on réduit par là le nombre des organes et les chances de dérangement. Cependant on trouve à cette unification l'inconvénient de s'exposer à des chutes d'eau écrasantes, si la pompe vient à crever. Il convient donc de garder une juste mesure, et de partager l'épuisement au moins entre deux pompes, ce qui facilite en outre les réparations, dans les moments où l'on peut arriver, avec un seul de ces appareils, en l'activant autant que possible, à surmonter les venues d'eau.

L'aspirant, qui se trouve absolument au contact des coups de mine, doit être établi dans des conditions de grande solidité. On emploie aussi, dans les pompes d'avaleresse, l'*épée à fourreau*, c'est-à-dire un ensemble de deux tuyaux emboîtés l'un dans l'autre. Le tube mobile peut être tiré successivement au dehors, sur une longueur variable, de manière à baigner toujours dans le puisard, jusqu'à ce que l'on procède à un abaissement général de tout le jeu volant, en faisant alors rentrer le tube dans son fourreau. Il est bon également que l'aspirant soit réuni à la travaillante par un joint souple, afin que l'on puisse le diriger à volonté vers les diverses anfractuosités, que les circonstances du tirage peuvent déterminer dans le fond.

La colonne de tuyaux est allongée par la partie supérieure, au fur et à mesure de la descente de la pompe. On les fait en tôle, et non plus en fonte, pour obtenir plus de légèreté. Les joints sont encore à brides. On les réalise en assemblant, à l'extrémité de chaque virole, un fer de cornière roulé à chaud en forme de cercle.

CHAPITRE XXXIX

MOTEUR D'ÉPUISEMENT

—

§ 1

CONDENSATION

934 — *Pompes de mines.* — Le moteur d'épuisement (¹) présente une physionomie absolument différente de celle de la machine d'extraction, que nous avons cherché à préciser dans le chapitre XXXIV.

La condensation s'y présente tout d'abord à l'esprit, puisque l'on dispose d'une importante quantité d'eau, précisément proportionnelle à la force de la machine qui a pour objet son élévation. Mais, en même temps, il ne faut pas perdre de vue que cette puissance admet, comme second facteur, la hauteur de l'ascension. Il y a, par suite, théoriquement une limite de profondeur assignée à l'emploi de ce liquide pour la condensation, et au delà de laquelle cette quantité ne saurait suffire, sans adjonction d'eaux étrangères.

Pour le mettre en évidence, appelons P le poids, bien déterminé,

(¹) *Annales*, 7ᵉ, VIII, 202, Pernolet. — *Bull. min.*, 1ʳᵉ, I, 110, Lombard; 179, Luyton; II, 573, Baure; III, 5, Baure; 428, Soulary et Desbief: IV, 443, Lombard; V, 307, Imbert, etc.; V, 575, Leseurre; VIII, 561, Soulary; XI, 31, 211, Grand Eury. — *Rev. univ. d. m. et u.*, 1ʳᵉ, XXX, 242, Dwelshauvers-Dery; XXXI, 301, Trasenster; 2ᵉ, III, 442; XI, 223, Hoppe; XIII, 392, Bernard.—*The Engineer*, 6 avril 1877. — *Engineering*, 1875, 1ᵉʳ vol., 169; 2ᵉ vol., 413; 1876, 2ᵉ vol., 57, 239; 1878, 2ᵉ vol., 294. — *Annales des travaux publics de Belgique*, VII et XXXI, Trasenster. — *Portefeuille de John Cockerill*, III, machine de Sarts au Berleur. — Von Hauer, *Hüttenwesenmaschinen.* — Kley, *Die Wasserhebemaschinen des Altenberges*, Stuttgard, 1865. — Von Hauer, *Die Wasserhaltungsmaschinen der Bergwerke*, Leipsick, 1879.

d'eau froide, pratiquement nécessaire pour condenser la quantité de vapeur qui est capable de fournir 1 kilogrammètre, c'est-à-dire d'élever 1 kilogramme d'eau à 1 mètre de hauteur. Pour extraire ce même kilogramme de toute la profondeur H, il faudra employer H fois plus de vapeur motrice, et, par suite, verser H fois plus d'eau froide dans le condenseur, c'est-à-dire un poids PH. Or on ne dispose pour cela que de cet unique kilogramme, qui vient de sortir de la mine. Si donc on détermine une hauteur type H_0 par l'égalité :

$$PH_0 = 1, \qquad H_0 = \frac{1}{P},$$

l'épuisement sera suffisant, ou même surabondant, pour opérer la condensation sans addition d'eaux étrangères, si l'on a, pour la profondeur réelle H :

$$H < H_0 < \frac{1}{P}.$$

Mais si, au contraire :

$$H > H_0 > \frac{1}{P},$$

cette quantité deviendra insuffisante, et l'on sera obligé, ou de renoncer à l'emploi du condenseur, ou de capter des eaux de surface.

935 — Pour nous faire une idée approximative de cette limite H_0, admettons que, dans les conditions d'un bon fonctionnement, 1 kilogramme de charbon puisse, par sa combustion, donner naissance à 7 kilogrammes de vapeur. Nous verrons également (n° 938) que, dans les meilleures machines d'épuisement, ce kilogramme de combustible peut suffire à entretenir, pendant une heure, une force de cheval, en développant, pour cela, $75 \times 60 \times 60$, c'est-à-dire 27 000 kilogrammètres.

Le kilogramme de charbon recèle donc pratiquement la faculté d'élever un poids égal à une hauteur de 27 000 mètres, ou de monter un poids quelconque p à l'altitude $\frac{27\,000}{p}$. Or la quantité d'eau

froide nécessaire pour la condensation d'un kilogramme de vapeur peut varier, suivant les circonstances, de 20 à 40 kilogrammes. Le poids p, nécessaire à la condensation des 7 kilogrammes de vapeur, oscillera donc de 140 à 280 kilogrammes. On reconnaît par là que la puissance dynamique du combustible ne sera pas capable, en général, d'aller chercher plus profondément qu'à $\frac{27000}{140}$ ou $\frac{27000}{280}$, c'est-à-dire environ 200 ou 100 mètres, l'eau nécessaire à la condensation. Cette limite est, comme on le voit, inférieure à la profondeur de la plupart des mines de quelque importance.

936 — *Pompes d'avaleresse.* — En revanche, ce chiffre est ordinairement suffisant pour le fonçage des avaleresses à travers les morts-terrains du nord de la France. Il serait donc facile d'y organiser, sur ce pied, la condensation. Cependant on fait presque toutes les machines d'avaleresse sans condenseur, afin de réduire l'encombrement et les chances de dérangement, en simplifiant l'appareil sous tous les rapports.

La question n'est plus du reste tout à fait la même. Il ne s'agit plus d'organiser, sur des bases aussi économiques que possible, un état de choses destiné à durer autant que la mine elle-même, mais, au contraire, de surmonter, à tout prix, les difficultés d'une période transitoire, sous peine de rester en échec. Ce point de vue domine tous les autres. Cependant Callon a fait observer avec raison que si, à la vérité, la durée de l'opération reste limitée, par compensation, la dépense journalière de combustible atteint parfois des chiffres tels, qu'une réduction de ce coefficient ne devrait pas être négligée.

Or l'absence de condenseur sera, pour de tels fonçages, d'autant plus anti-économique que, pour être en état de terminer l'opération, le moteur doit être calculé en vue de la plus grande profondeur. Sa force se trouve donc nécessairement surabondante dans le commencement. Comme, en même temps, on emploie en général des machines sans détente, afin d'obtenir plus de puissance avec plus de simplicité, on n'a pas d'autre ressource, pour équilibrer le moteur avec la résistance à vaincre, que de tenir la pression basse. On sait dès lors que la marche devient absolument onéreuse, si l'on ne cor-

rige pas du moins, par l'introduction de la condensation, ce que ces conditions présentent de défectueux.

Cette adjonction pourrait du reste avoir lieu sans entraîner, à proprement parler, une complication pour le fonctionnement du moteur. Il suffirait de faire actionner le condenseur par une machine condensante spéciale. Si celle-ci venait incidemment à se déranger pour son propre compte, on en serait quitte pour la dételer, et marcher momentanément sans condensation.

§ 2

MOTEUR A SIMPLE EFFET

937 — *Moteur.* — Le moteur d'épuisement peut être à simple ou à double effet.

Dans la machine à simple effet, la vapeur n'est employée qu'à soulever la maîtresse-tige et tout l'attirail. Elle cesse ensuite son action, et la tige redescend par son propre poids. D'après cela, si la machine est *à traction directe*, et installée immédiatement sur le puits, le fluide moteur doit agir sous le piston. Si elle est à balancier (fig. 605) [1], la vapeur pèsera, au contraire, sur la face supérieure. Le premier type est plus simple, mais il encombre complètement les abords du puits, et risque d'y déterminer des tassements fâcheux, si la nature des parois y prête. Le second, en reportant le cylindre à quelque distance de l'orifice, supprime ces difficultés, mais au prix d'une certaine complication. Le balancier peut du reste être supérieur ou inférieur; à bras égaux, pour plus de simplicité, ou inégaux, pour tenir compte de ce que l'eau et la vapeur s'accommodent d'une manière très inégale de vitesses un peu prononcées, en raison de leur grande différence de densité.

La machine à simple effet actionne elle-même son condenseur. La pression est, en général, de 2 à 4 atmosphères. La détente y est

[1] Cette machine de 700 chevaux, installée à Monzen, sur la mine du Bleiberg, envoie au jour $3^{m3},5$ par cylindrée, à la vitesse de 7 coups doubles par minute (Dr Gurlt, *die Bergbau und Hüttenkunde*, p. 84).

poussée très loin, jusqu'à $\frac{1}{8}$. Son influence est bien en harmonie

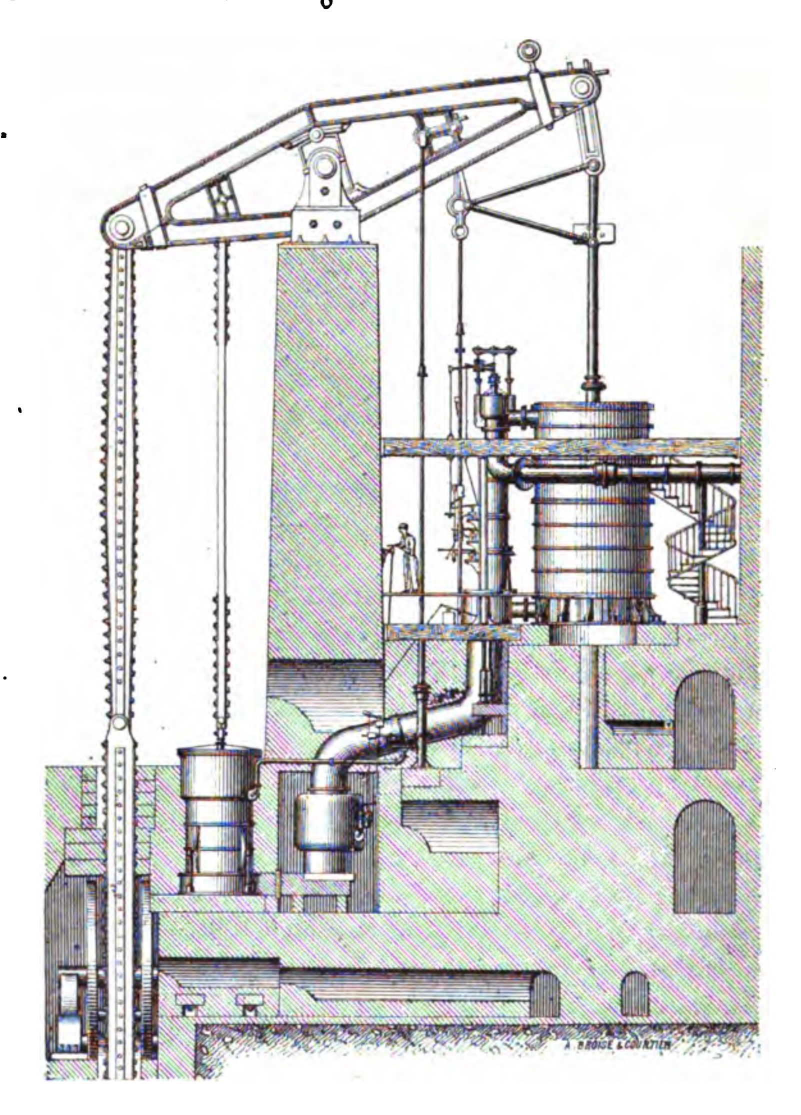


Fig. 695. Machine d'épuisement à simple effet (mine de Bleyberg).

avec les nécessités de la question. La pleine pression enlève vivement la tige. Ensuite le mouvement s'éteint progressivement, pendant la longue détente.

L'organe qui sert à réglementer la distribution est la cataracte à eau, ou mieux, à huile. Cet ingénieux appareil permet de faire varier la détente, d'après l'instant où il coupe la vapeur. Il règle en même temps, avec l'admission, l'intermittence des coups de piston. En effet ce moteur, à l'inverse des machines à vapeur ordinaires, ne fournit pas sans interruption ses courses successives. Il s'arrête complètement après chacune d'elles, et repart ensuite pour en fournir une nouvelle, après un intervalle que l'on fait varier arbitrairement, de manière à mettre l'activité de l'épuisement en rapport avec celle des venues d'eau, qui n'est pas constante.

Le diamètre du cylindre varie de $0^m,50$ à $2^m,50$; la course du piston de 2 à 3 mètres, et même jusqu'à 4 mètres. Sa vitesse oscille, à la montée, entre $1^m,30$ et $1^m,75$ tout au plus; elle est de $0^m,45$ à la descente.

938 — Cet appareil, attentivement étudié dans tous ses détails, a souvent donné des résultats économiques extrêmement remarquables. On a réalisé une marche de 1 kilogramme de charbon par cheval et par heure, et même exceptionnellement un peu moins encore. Dans des conditions ordinaires, avec une allure plus rapide et une détente moins prolongée, on atteint, avec toutes les valeurs intermédiaires, le chiffre beaucoup moins économique de 4 à 5 kilogrammes.

Il y a certainement lieu d'être surpris, au premier abord, d'un tel mouvement de recul sur les anciens rendements, devenus classiques, des machines de Cornouailles, malgré les progrès incontestables accomplis par l'art de la construction. Mais ce résultat peut s'expliquer par les conditions, tous les jours plus difficiles, de l'art des mines. Avec une longue détente, il faut une attaque énergique, pour créer en peu de temps une force vive, à l'aide de laquelle le système achèvera sa course, lorsque la détente aura affaibli l'action motrice, jusqu'à la rendre inférieure à la résistance à vaincre. Or, avec les profondeurs toujours croissantes que l'on aborde maintenant, l'importance des masses en mouvement rend de plus en plus dangereuses les grandes vitesses. Si donc l'on restreint ainsi la vitesse maximum, il faut, en même temps, raccourcir la

détente, pour le motif qui vient d'être indiqué, et par suite, mar-

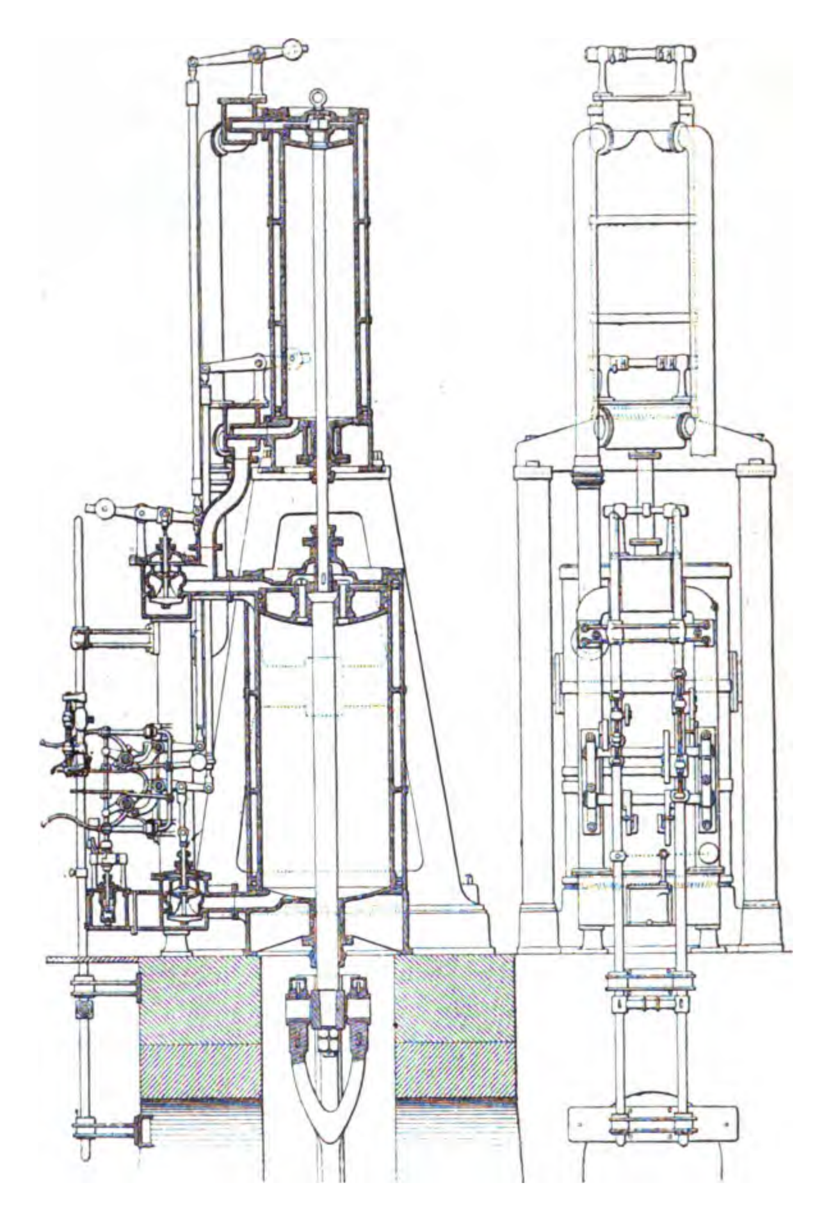


Fig. 606 et 607. Machine d'épuisement compound (ateliers de Quillacq).

cher dans des conditions moins économiques.

L'introduction du type compound (fig. 606, 607) (¹) a formé à cet égard une réaction salutaire, et permis d'employer une détente plus marquée, bien que mieux uniformisée, puisqu'elle se trouve répartie sur toute la durée de la course, au lieu de ne commencer qu'après la phase de pleine pression.

M. Wilner arrive au même résultat avec un cylindre unique (²), par l'introduction d'un levier coudé, que deux bielles relient, d'une part à la tige du piston, et, de l'autre, à la maîtresse tige des pompes. On fait varier par là, pendant la course, les moments de l'action de la vapeur et du poids, de manière à pouvoir s'accommoder des effets produits par la détente prolongée.

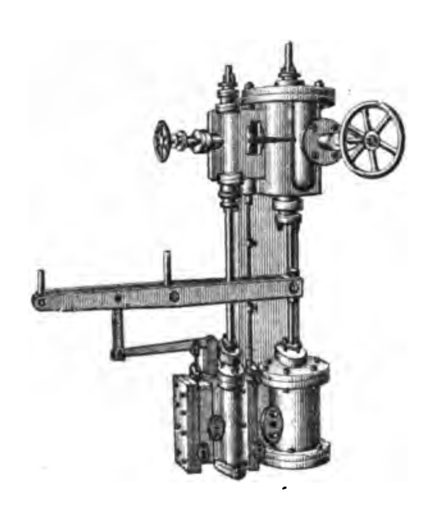
M. Davey a trouvé le moyen de faire régler, par la machine de

(¹) Cette machine a été établie par les ateliers de Quillacq (d'Anzin) pour les mines de Bruay (Pas-de-Calais). Elle est sans condensation. On a choisi le type compound à cylindres superposés, pour économiser l'emplacement (comme au puits Tuhan de Kladno en Bohême, *Annales*, 7ᵉ, VIII, 202); mais, dans le cas actuel, le petit cylindre a été fixé de manière à le rendre indépendant du grand, afin de présenter plus de stabilité, et à une distance suffisante pour permettre l'enlèvement du couvercle et du piston. La distribution s'effectue au moyen de six soupapes à double siège et d'une cataracte à double effet. La détente automatique a lieu, dans la marche normale, au quart, résultant d'une admission de 85 0/0 dans le petit cylindre, suivie de l'expansion dans le grand. On peut la faire varier à la main par le déplacement des taquets, et atteindre ainsi presque le septième. L'épuisement a lieu actuellement à la profondeur de 350 mètres, mais la machine est établie en vue de le porter à 550 mètres, et c'est à cet état de choses futur que se rapportent les données suivantes :

Diamètre du grand piston	1,20	mètres
— petit piston	0,65	—
Course des deux pistons	2,50	—
Pression absolue	5,50	kilogrammes
Nombre de coups doubles par minute (au besoin 8)	6,00	
Force en eau élevée	130,00	chevaux
— chevaux indiqués	160,00	—
Profondeur	550,00	mètres
Epuisement par journée (en 20 heures)	1200,00	m. cubes
Plongeurs, diamètre	0,30	mètres
— course	2,50	—
Maîtresse tige	79,00	tonnes
Colonne à refouler	36,5	—
Contrepoids	40,00	—
Charge maximum de l'axe du balancier	170,00	—
Tourillons, diamètre	0,35	mètres
— longueur	0,40	—
Bras de levier du centre de gravité du contrepoids	7,25	—

(²) Aguillon (*Bull. min.*, 2ᵉ, VIII, 63). — Leverrier (*CRM*, avril 1876, 15)

Cornouailles elle-même, son allure, à l'aide de la *distribution différentielle* ([1]) dont il est l'auteur (fig. 608). Le principe essentiel de cet appareil consiste à faire conduire la tige qui manœuvre la distribution, par une barre soumise à la fois à l'action immédiate de la machine, dont le piston la sollicite directement, et d'une cataracte qui agit sur elle d'autre part. Le mouvement de cette tige, ainsi influencé simultanément par les deux précédents, devient fonction de leur différence. Dès lors, l'instant où la vapeur se trouve coupée par la tige, pour commencer la détente, peut, d'une part, subir une réglementation uniforme, bien qu'arbitraire, par le jeu de la cataracte; et, en même temps, il se trouve directement modifié par l'allure même de la machine. Si celle-ci s'emporte, en raison d'un défaut d'équilibre entre sa puissance et les résistances qu'elle est appelée à vaincre, elle fermera plus tôt l'admission, allongera la détente, affaiblira sa force, et rentrera bientôt dans l'ordre. L'inverse se produit, lorsqu'un excès de résistance vient à ralentir la marche. Les figures 609 et 610 représentent un puissant moteur, dont la distribution est actionnée par ce système différentiel ([2]). Nous en retrouverons plus loin (n° 948) un autre exemple.


Fig. 608. Distribution différentielle de Davey pour machine de Cornouailles.

([1]) *Engineering*, 26 février 1875, p. 168; 17 novembre 1876, p. 422.

([2]) Cette machine est destinée par M. Davey à une mine d'argent de M. J. Thompson au Nevada, en vue d'extraire 3300 mètres cubes d'eau dans les vingt-quatre heures, d'une profondeur future de 1220 mètres, répartie sur 10 répétitions de pompes, à raison de 5 coups doubles par minute. Les deux cylindres verticaux juxtaposés ont 3m,05 de course; 1m,43 et 2m,87 de diamètre. A chaque extrémité du parcours se trouvent trois soupapes à double siège de 0m,203 de diamètre pour l'admission, 0m,380 pour le passage du petit au grand cylindre, et 0m,470 pour l'exhaustion. Ces clapets sont actionnés par la distribution différentielle. Le moteur aura deux enveloppes de vapeur, et un condenseur dont la pompe à air sera actionnée par une machine condensante spéciale (*Engineering*, 17 novembre 1876, p. 425).

939 — *Attirail.* — D'énormes masses entrent en jeu dans les machines d'épuisement, tant en ce qui concerne l'eau elle-même,

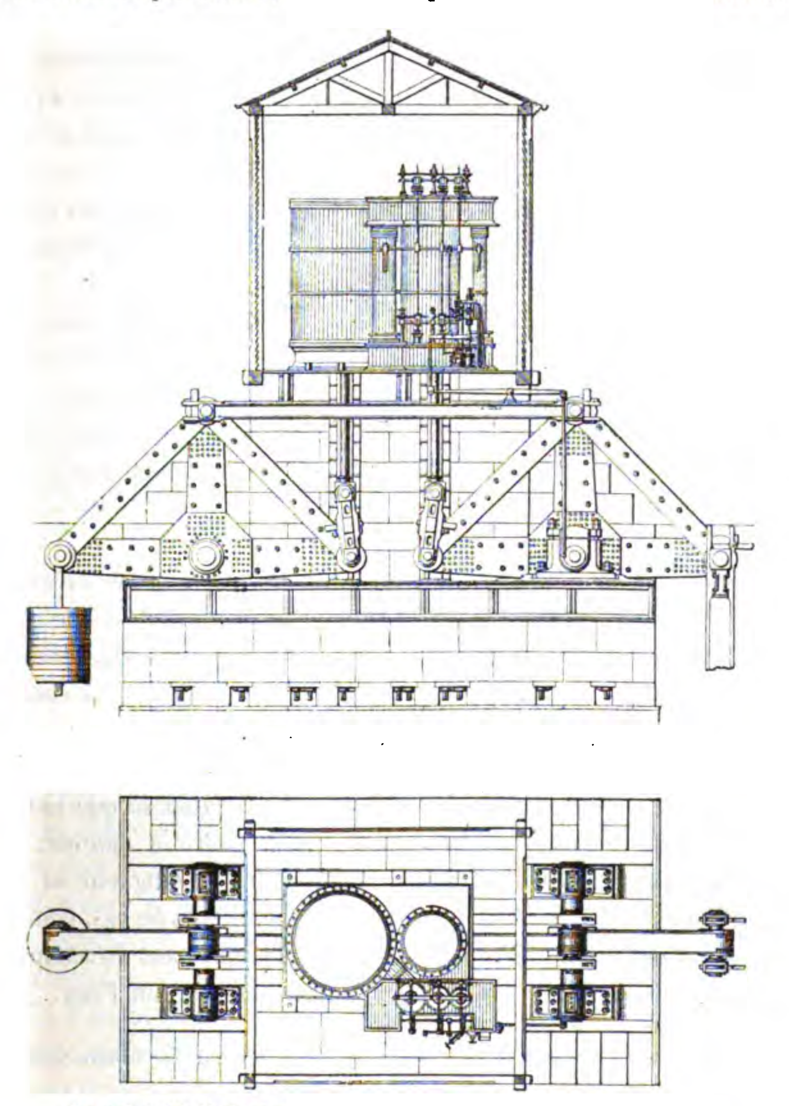


Fig. 609 et 610 Machine d'épuisement à distribution différentielle de Davey.

qui s'impose comme la donnée immédiate de la question, que les parties solides constituant l'*attirail* de la pompe. Le fonctionnement de ces masses, qu'on ne cherche pas à diminuer et que l'on se trouve

même amené à augmenter par l'adjonction de corps étrangers [1], se trouve en relation étroite avec la nature spéciale du service de ce moteur, et il nous faut y insister attentivement.

Si la pompe est élévatoire, l'action motrice est employée à vaincre : 1° le poids de la tige, 2° celui de l'eau élevée, 3° les résistances passives. Mais, pour plus de simplicité, et dans toute la suite de ces explications, nous ferons toujours abstraction de ces dernières. Nous réduirons donc la force ascensionnelle à la somme des poids de la tige et de la colonne d'eau. Pour diminuer cet énorme total, on en équilibre une partie par des contrepoids additionnels.

Lorsque la vapeur a cessé son action, la tige redescend, avec une accélération égale au quotient de la différence entre son poids et le contrepoids, divisée par la somme des masses de ces deux corps.

On trouve, à ce dispositif, l'avantage que la tige exerce son effort par traction, et qu'elle ne présente, d'après cela, aucune tendance à se gauchir ou à fouetter.

940 — Avec la pompe foulante, la vapeur est employée à relever la maîtresse tige, sans agir sur l'eau. C'est seulement en descendant par la seule influence de la pesanteur, que cette tige refoule l'eau dans les colonnes élévatoires. Comme cette action serait encore excessive, en raison des grandes dimensions de cette maîtresse tige [2], on l'équilibre de même en partie à l'aide de contrepoids.

Le mode d'action est alors moins satisfaisant, attendu que la tige exerçant son action par refoulement, peut tendre à flamber, en raison du rapport démesuré qui existe entre sa longueur et ses dimensions transversales. On remarquera, dans tous les cas, comme un point essentiel, que ce n'est jamais en comprimant directement la tige sous l'effort de la vapeur, qu'on la fait agir sur l'eau.

(1) La machine d'épuisement du Grand-Hornu, construite par les ateliers Cockerill de Seraing pour une détente de $\frac{1}{5}$, pèse 550 tonnes.

En ce moment M. de Quillacq établit, pour une mine de plomb de Dusseldorf, un projet d'épuisement, dans lequel deux machines à condensation sont attelées à un même puits, pour éviter l'exagération des dimensions d'un moteur unique.

(2) Les effets de l'imbibition, dans des puits saturés d'humidité, peuvent augmenter le poids des maîtresses tiges dans une proportion qui atteint 20 0/0 pour le bois de chêne, et 40 0/0 pour le sapin.

941 — Quant à la disposition effective de ces contrepoids, on l'a variée de bien des manières. Le mode le plus simple consiste à employer un gros balancier, sur la queue duquel se trouve placée une caisse, que l'on remplit d'objets très pesants. Mais, dans les organisations plus soignées, on assemble, sur la queue du balancier, de lourdes plaques de fonte réunies par de forts boulons.

On a, quoique rarement, fractionné, d'après une vue très judicieuse, le total du poids nécessaire en plusieurs contrepoids séparés, placés à l'extrémité d'autant de balanciers, qui fonctionnent dans des chambres souterraines pratiquées à des hauteurs successives. Le résultat dynamique est toujours le même, et l'on réalise cet avantage de supporter distinctement les diverses travées de la tige, en les dépouillant pour ainsi dire de leur poids l'une après l'autre, de manière à soulager les parties supérieures qui, sans cela, seraient obligées de les porter. De cette manière, on arrive à diminuer la fatigue moléculaire.

On a aussi substitué au mouvement circulaire alternatif des balanciers, qui exigent un emplacement considérable, l'emploi de poulies et de chaînes, supportant des contrepoids, qui montent et descendent verticalement dans un espace très restreint.

En faisant encore un pas dans le même ordre d'idées, on arrive aux contrepoids hydrauliques. Ce sont des colonnes d'eau constantes et oscillantes, qui montent et descendent alternativement, dans les tuyaux où elles se trouvent refoulées. On obtient ainsi la même économie d'emplacement qu'avec les contrepoids solides, avec plus de simplicité et moins de frottement.

M. Guary a employé comme moyen antagoniste, au lieu de contrepoids, la compression de certaines masses d'air, suivie de leur détente.

On a encore proposé de fractionner la hauteur totale de l'épuisement en deux parties égales, et d'y faire fonctionner deux maîtresses tiges qui s'équilibrent mutuellement, par l'intermédiaire d'un balancier placé au niveau de partage.

Enfin, l'on a imaginé l'emploi de deux machines jumelles, dont les tiges s'équilibrent mutuellement.

§ 3

MOTEUR A DOUBLE EFFET A VOLANT

942 — *Moteur intérieur.* — On a introduit récemment (1) dans l'épuisement des mines, le moteur à double effet, avec lequel la vapeur actionne un arbre tournant muni d'un volant. L'appareil peut être installé de deux manières différentes : au fond ou au jour.

Quand la machine motrice est placée dans les travaux (fig. 611, 612) (2), la maîtresse tige disparaît nécessairement. Il ne saurait, en effet, être question de l'actionner par-dessous et par compression, pour la remonter malgré la pesanteur. Cette suppression entraîne comme conséquence celle des répétitions, que l'on n'aurait plus aucun moyen de relier au moteur. L'installation de la machine dans l'intérieur ne peut donc se concilier qu'avec le type de pompes, dans lequel l'eau est relevée sans discontinuité depuis le fond jusqu'au jour. On arrive ainsi à se débarrasser à la fois de la maîtresse tige, de l'attirail destiné à l'équilibrer, et de tout le mécanisme des répétitions.

Mais, en revanche, indépendamment des inconvénients inhérents à l'élévation de l'eau sur une seule travée (n° 907), et à l'installation

(1) *Bull. min.*, 1re, V, 343.

(2) Cette machine a été construite par M. Audemar (de Dôle) pour le puits Sainte-Marie de Montceau-les-Mines. L'entretien d'eau, de 3200 mètres cubes en vingt-quatre heures, est relevé de 334 mètres, dans l'espace de vingt heures, ce qui représente une force réelle de 207 chevaux.

Le moteur se trouve installé à 300 mètres. Une conduite de vapeur de $0^{m},20$ de diamètre et 403 mètres de développement total, descend dans un puits de 2 mètres, parallèlement à celle qui sert pour l'élévation de l'eau. L'échappement est rejeté dans un second puits semblable au premier. Les cylindres ont $0^{m},85$ de diamètre et $1^{m},10$ de course. Des soupapes de sûreté, placées aux extrémités des cylindres, sont chargées de manière à se soulever pour une pression supérieure d'un kilogramme au timbre du générateur. On évite ainsi que les grandes condensations intérieures n'accumulent des quantités d'eau capables de faire sauter les fonds. Les tiges des pistons traversent ces deux fonds de part en part. Elles actionnent d'un côté la pompe élévatoire de 34 mètres et, de l'autre, le jeu foulant de 300 mètres.

La machine est sans condenseur. La hauteur d'élévation est, en effet, supérieure à la limite qui permet d'opérer la condensation avec l'eau extraite (n° 935), et la situation intérieure de l'appareil ne permettait naturellement pas d'avoir recours à l'emploi d'eaux étrangères (*Bull. min.*, 2e, I, 437, Audemar; VIII, 819, Buisson).

des moteurs à vapeur dans le fond (n° 701), on risque de voir une

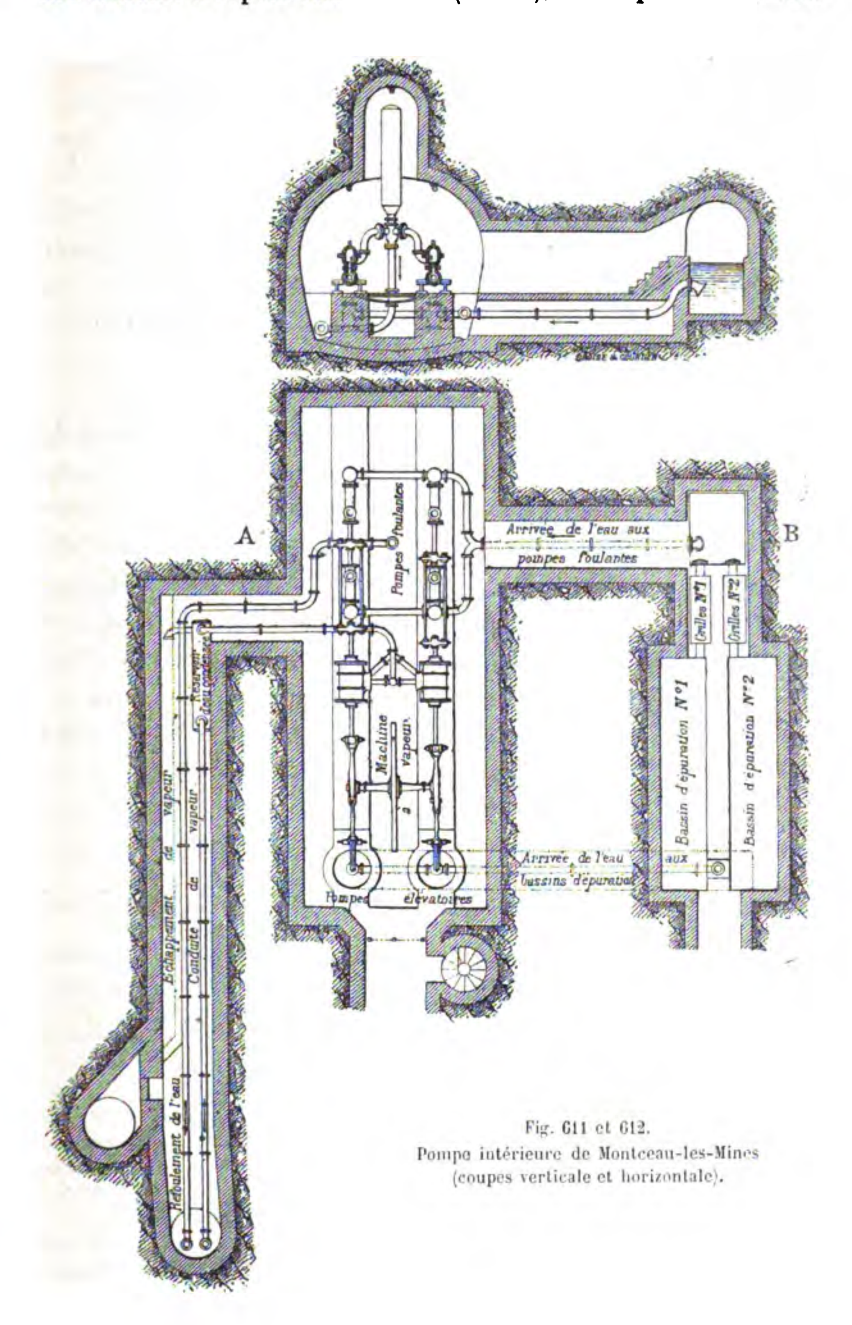


Fig. 611 et 612.
Pompe intérieure de Montceau-les-Mines
(coupes verticale et horizontale).

avarie de l'appareil, ou une crue exceptionnelle, maîtriser l'épuisement et noyer la machine. Il faut donc, tout au moins, reculer cette éventualité en créant, ordinairement à l'aide de vieux travaux, des réservoirs considérables, capables de renfermer l'entretien d'eau pendant un temps notable [1]. En outre, la grande puissance nécessaire pour être en état de lutter contre l'inondation, devient un embarras dans les conditions normales. M. Hilt, à Kohlscheid (Aix-la-Chapelle), a, pour remédier à cet inconvénient, admis comme principe la subdivision de l'appareil d'épuisement en plusieurs machines distinctes, que l'on ne met en marche que dans la proportion nécessaire pour l'épuisement.

243 — *Moteur extérieur.* — Lorsque la machine est installée au jour, la maîtresse tige reparaît, comme liaison nécessaire entre le moteur et la pompe du fond. On se trouve dès lors en présence de cette difficulté, que la machine étant à double effet, elle doit agir dans les deux courses, ascendante et descendante, de la maîtresse tige, tandis que nous avons reconnu qu'il est inadmissible de fouler sur l'eau, par l'action de la vapeur, en comprimant la tige. On est arrivé cependant à tourner très habilement cet obstacle à l'aide de contrepoids, et à combiner deux solutions très élégantes, relatives à l'emploi de pompes foulantes ou élévatoires [2].

Si l'on emploie des pompes foulantes, on donne à la tige un poids T égal à celui E de l'eau de la colonne. Le contrepoids C a pour valeur la moitié, $\frac{T}{2}$ ou $\frac{E}{2}$, des précédents. La vapeur, par l'intermédiaire du piston et de sa tige, agit alors, non plus sur la maîtresse tige directement, mais sur le contrepoids. On y réunit immédiatement ces organes à l'aide d'une bielle ordinaire, sur laquelle on

[1] Bien que la combinaison du moteur intérieur ne paraisse pas destinée à jamais prendre la prépondérance sur l'autre type, qui restera toujours la solution des grandes profondeurs, elle jouit cependant d'une certaine vogue en Angleterre et dans quelques districts du continent. A Kohlscheid, par exemple (bassin de la Wurm), on a déjà installé plus de quinze moteurs au fond, relevant l'eau, dans une seule travée de 270 mètres environ, avec un débit qui atteint $1^{m^3},5$ par minute.

[2] Nous continuons, dans ces explications, à supprimer, pour plus de clarté, l'influence des résistances passives, qu'il serait aisé de prendre en considération dans une application effective.

pourra impunément tirer et pousser alternativement, car elle est courte, et son équarrissage est mis, comme dans toutes les machines, en harmonie avec sa longueur.

A la montée de la maitresse tige, on demande à la vapeur une action égale à la moitié $\frac{T}{2}$ du poids de cette tige, et l'on emploie cet effort à repousser vers le bas le contrepoids ([1]). Comme ce dernier est, en même temps, sollicité à descendre par son propre poids $C = \frac{T}{2}$, il devient ainsi le siège d'un effort total T, capable de remonter la tige par l'intermédiaire du balancier qui la réunit au contrepoids. Pendant ce temps, l'eau reste en repos.

Lors de sa descente, la tige agit sur le liquide en le foulant par son propre poids $T = E$. Les choses se passent, à cet égard, comme dans le moteur à simple effet, et sans que la vapeur vienne y mêler son intervention. Elle s'emploie, pendant ce temps, à remonter, en le tirant à l'aide de sa courte bielle, le contrepoids $\frac{T}{2}$, ce qui exige de sa part un effort précisément égal à celui de la course inverse.

944 — Dans le cas des pompes élévatoires (fig. 613) ([2]), on donne au contrepoids une valeur égale aux poids réunis de la tige et de la moitié de l'eau :

$$C = T + \frac{E}{2}.$$

([1]) Ou à relever l'extrémité opposée du balancier auquel il est adapté.

([2]) Cette machine a été construite pour les mines de Trets (Bouches-du-Rhône), par MM. Biétrix et Révollier de Saint-Etienne. L'entretien d'eau peut atteindre 10 000 mètres cubes en vingt-quatre heures. On le relève de 130 mètres, jusqu'à une galerie d'écoulement située à 65 mètres de profondeur. On y a installé le moteur dans une chambre souterraine, un peu au-dessus de la galerie, afin de le préserver en cas d'inondation complète. Malgré cette situation spéciale, l'appareil ne rentre pas dans la catégorie des machines intérieures (n° 942), puisqu'il est placé *au-dessus*, et non *au-dessous* de la colonne d'élévation des eaux.

Une pompe élévatoire, d'une hauteur un peu moindre que la moitié de la relevée, est surmontée par un jeu foulant renversé. Leurs maîtresses tiges sont indépendantes. On pourrait, par suite, en cas d'inondation, dételer la pompe inférieure, et marcher seulement avec l'appareil foulant.

La machine appartient au type compound. Elle est formée de deux moteurs distincts,

A la montée, la maîtresse tige agit par traction pour élever le liquide. La vapeur est donc chargée d'enlever, tout à la fois, la

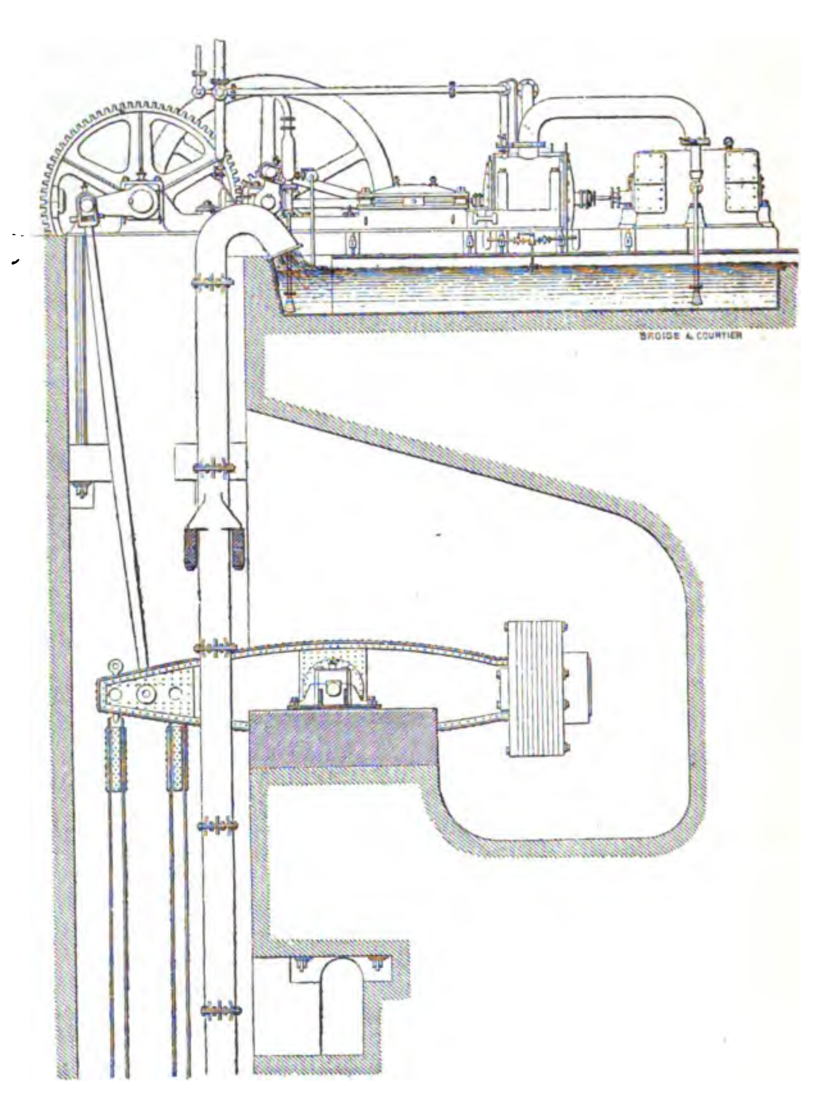


Fig. 613. Machine d'épuisement compound (mine de Trets).

tige T et l'eau E. Elle y est, à la vérité, aidée par la descente du

qui commandent l'arbre de rotation au moyen d'engrenages du rapport de 2 à 7. La

contrepoids, sur lequel elle agit avec sa bielle en le poussant vers le bas. Elle n'a, par conséquent, à développer que la différence :

$$(T+E) - C = (T+E) - \left(T + \frac{E}{2}\right) = \frac{E}{2}.$$

A la descente, la tige étant sans action sur l'eau qui reste en repos, son poids T sert à remonter le contrepoids C. Mais il n'y suffirait pas à lui seul. La vapeur est obligée de tirer sur ce dernier pour fournir l'appoint nécessaire :

$$C - T = \left(T + \frac{E}{2}\right) - T = \frac{E}{2},$$

c'est-à-dire un effort égal à celui de la course précédente.

945 — *Discussion.* — La machine à double effet présente des avantages assez marqués. En premier lieu, le travail d'une double course, équivalent à l'ascension d'une cylindrée d'eau, est ici fourni par les chaudières sous la forme de deux courses simples, au lieu d'une seule. Le cylindre où s'effectue le jeu de cette vapeur deviendra donc deux fois moins volumineux. Or cette réduction du calibre du cylindre et du piston entraîne, pour une petite partie, celle des frais d'établissement et du rayonnement calorifique, mais surtout celle des frottements, qui sont proportionnels aux poids des pièces.

vitesse atteint normalement 10 à 12 coups par minute, et ses principales dimensions sont les suivantes :

Diamètre des	petits cylindres	$0^m,640$
—	grands cylindres	$1^m,280$
—	pompes à air	$0^m,400$
—	pompes foulantes	$0^m,530$
—	pompes élévatoires	$0^m,465$
Course des	pistons à vapeur	$0^m,900$
—	manivelles	$1^m,800$
—	pompes foulantes	$1^m,500$
—	pompes élévatoires	$2^m,100$

(*Bull. min.*, 2e, VIII, 817, Buisson.)

L'énorme masse de l'attirail, qui figure dans les moteurs à simple effet, avait pour but de masquer les inégalités dues à la détente. Or ces effets sont naturellement en raison de la quantité de vapeur qui agit, et celle-ci se trouve réduite à moitié pour chaque course simple. On pourra donc restreindre, sans nuire au fonctionnement, l'importance des masses parasites.

Cette réduction pourra être d'autant plus accusée, qu'une partie de ces masses figurera dans l'appareil sous la forme d'un volant monté sur l'arbre de rotation, et quelquefois de deux volants disposés de part et d'autre d'un plan de symétrie. Or on sait que, dans cet organe, l'action régulatrice due à la masse est associée à l'influence du carré du rayon, ce qui permet de réduire le poids à volonté, tout en obtenant le même degré d'uniformisation. Notons toutefois que, dans le cas actuel, au lieu d'établir, comme dans la plupart des machines, le volant avec une ampleur surabondante, on calculera très juste son moment d'inertie, d'une manière qu'on pourrait même être tenté de considérer comme insuffisante. Il laisse alors, en effet, ralentir la fin de la course, comme si la machine avait peine à passer le point mort. C'est en vue de déterminer vers ces instants un ralentissement marqué des mouvements du liquide, de manière que les manœuvres de clapets puissent s'opérer sans que l'on ait à redouter les coups de bélier.

Si l'on ajoute à ces avantages dus à l'emploi du double effet, ceux qui sont inhérents au système compound, lorsque l'on jugera à propos de l'adapter à cet office, comme c'est aujourd'hui la tendance générale, on comprendra que l'on puisse arriver ainsi à détendre deux ou trois fois plus, à égalité de vitesse moyenne, dans une machine de Woolf à double effet, que dans un moteur à simple effet et à cylindre unique.

Ajoutons encore que le mécanisme de rotation limite rigoureusement la course du piston, qui n'est pas géométriquement déterminée dans la machine à simple effet, ce qui l'expose, en cas de rupture des maîtresses tiges, à lancer son piston de manière à tout disloquer. Il s'ensuit également une réduction des espaces nuisibles, dans le moteur à double effet.

Grâce à ces divers avantages, ces engins peuvent être menés

plus vivement. On a été jusqu'à 36 tours du volant par minute, en ayant soin de réduire ce chiffre à 12 coups doubles, à l'aide d'un rapport d'engrenages.

§ 4

MOTEUR A DOUBLE EFFET A CATARACTE

946 — *Pompes sans détente.* — L'emploi du double effet de la vapeur sur l'une et l'autre face du piston, dans les deux courses simples, n'est pas inséparable du mouvement de rotation. Une classe spéciale de moteurs à double effet actionne la pompe par traction directe, et le volant en disparaît avec l'arbre tournant.

La distribution de vapeur est alors, d'après un artifice qui remonte à Newcomen, directement attaquée par le piston lui-même aux extrémités de sa course. Dans la pompe Blake, par exemple [1], le piston rencontre, à une petite distance du fond du cylindre, un heurtoir mobile qu'il y refoule (fig. 614). Ce mouvement se transmet, à l'extérieur, à un système de tringles de communication qui font rentrer, par le fond opposé, un heurtoir semblable, pour attendre le retour du piston. En même temps, elles actionnent, au milieu de leur longueur, le tiroir de distribution qu'elles déplacent brusquement, de manière à intervertir le jeu des lumières pour provoquer la course rétrograde. Des dispositifs plus ou moins analogues, dont quelques-uns fort ingénieux [2], sont employés en grand nombre pour des épuisements d'importance restreinte [3].

Le tiroir ne se trouvant en relation avec le piston qu'aux extrémités de la course de ce dernier, la machine marche nécessairement sans détente, ce qui est une condition anti-économique.

[1] *Revue coloniale*, mars 1876. — *Engineering*, 9 juillet 1875, p. 37.

[2] Poillon, *Traité théorique et pratique des pompes*, 138. — Stapfer, *Bulletin de la Société scientifique de Marseille*, 1879. — Fontaine et Buquet, *Revue industrielle*, 1876, 245 ; 29 mai 1878. — Hirsch, *Rapports du jury international de l'Exposition de* 1878, Groupe VI, classe 54, p. 246. — Buisson, *Bull. min.*, 2e, VIII, 837. — *Engineering*, 16 juillet 1875, p. 44. — *The Engineering and Mining Journal*, 5 avril 1884, p. 254.

[3] Pompes Bailey, Carr, Carrett, E. Carette, Colburn, Earle, Hardock, Henwood, Kinsey, Lee, Lloyd, Northey, Parker, Pickering, Prunier, Ramsbottom, Schaw, Shanks, Schultz, Silver, Stapfer, Tyler, Walker, Worthington, Wright, etc.

Quelques-uns de ces appareils consomment jusqu'à 12 kilogrammes par cheval et par heure, à la vérité avec des combustibles très inférieurs, vaporisant à peine 3 kilogrammes d'eau pour 1 de charbon. Ils rachètent cet inconvénient par une certaine simplicité, et un grand rendement géométrique. Le piston de la pompe est monté sur

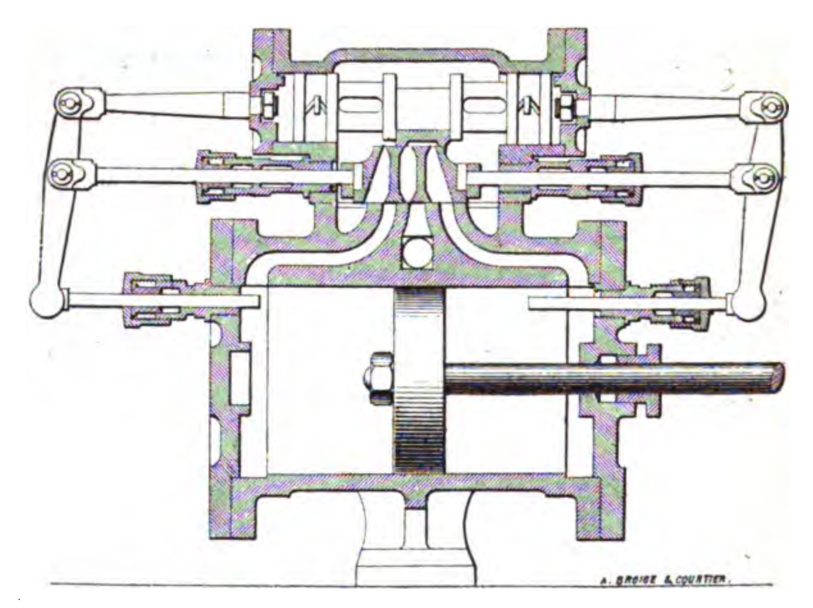


Fig. 614. Pompe aspirante de Blake, à double effet et à traction directe.

la même tige que celui du moteur. L'eau passe à travers une capacité, qui forme condenseur à une demi-atmosphère environ, et qui se vide à l'aide d'éjecteurs tels que ceux de Cherry, Holmann, Mac-Carter, Morton, etc.

947 — L'absence de détente donne, en outre, naissance à un inconvénient sérieux, particulièrement pour les appareils qui présentent peu de masse et, par conséquent, peu de force vive acquise. En effet, le moteur fonctionnant à pression constante, il doit y avoir à chaque instant équilibre entre l'effort de la vapeur sur le piston moteur, et la résistance offerte par l'eau. Or, pendant le renversement de la distribution, le tiroir se trouve, à un certain moment, à cheval sur les deux lumières. La vapeur étant ainsi

coupée, il va se produire, pour finir la course, une faible détente. Par suite, l'effort moteur devient immédiatement inférieur à la résistance à vaincre, et il peut arriver que, celle-ci restant victorieuse, le piston n'atteigne pas le point mort, n'achève pas le renversement de la distribution, et que la machine s'arrête définitivement.

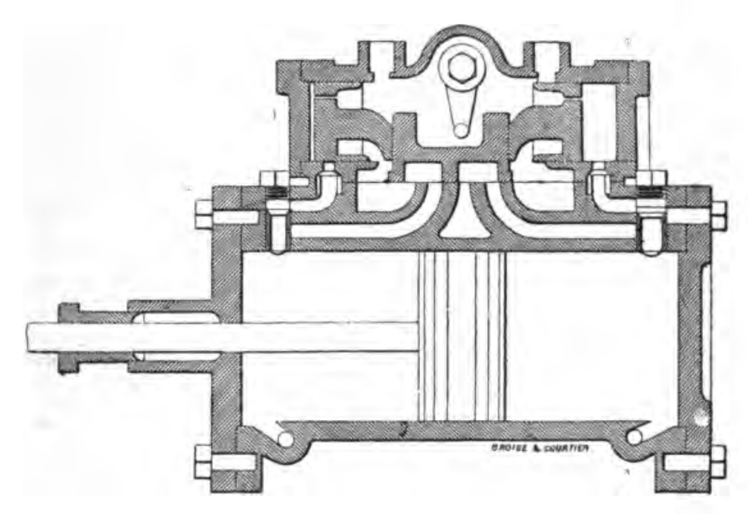


Fig. 615. Pompe Tangye.

Divers artifices ont été employés à cet égard. Dans la pompe Merryweather, le piston agit, non pas, comme dans le cas précédent, sur sa propre distribution, mais sur celle d'un petit cylindre auxiliaire, dont le piston actionne à son tour le grand tiroir.

Dans la pompe Belleville, un peu avant que le piston à vapeur attaque le tiroir, un conduit s'ouvre dans la pompe, de manière à faire communiquer ensemble les deux faces de son propre piston. La résistance se trouvant par là subitement supprimée, le piston-moteur s'élance et achève facilement sa course.

Dans la pompe Tangye (¹), le jeu des heurtoirs expliqué ci-dessus est remplacé par celui des différences de pression entre la chaudière et le condenseur. A cet effet (fig. 615), le tiroir se trouve pris entre deux pistons latéraux, qui le maintiennent à droite et à

(¹) *CRM*, 1877, mars, 1; mai, 4, Gudin du Pavillon.

gauche. Dans la position actuelle, tout leur ensemble a été reporté vers la gauche, ce qui a pour résultat de donner la vapeur sur la face gauche du piston-moteur, en le poussant vers la droite. Mais une chambre, restée libre derrière le piston-distributeur de droite, permettra à tout le système de se rejeter de ce côté, quand il y sera sollicité. Pour cela, deux fuites permanentes fournissent incessamment de la vapeur, à la fois sur les deux faces extérieures des pistons-distributeurs. Quand le piston-moteur arrivera au fond de course à droite, il effacera un petit clapet, en le refoulant dans la paroi du cylindre, d'où il fait saillie sous la pression d'un ressort. Par là, on ouvrira la communication entre le condenseur et la chambre libre. La pression de la fuite de vapeur s'y trouvant annulée, celle de gauche, qui subsiste en permanence, ramènera instantanément la distribution vers la droite. La disposition se trouve dès lors renversée, et le piston repart pour la course rétrograde. Une clef placée à la partie supérieure permet en outre la mise en marche, en donnant action du dehors sur le tiroir.

948 — *Pompe Davey à détente et cataracte différentielle.* — Les nombreux défauts que nous venons de reconnaître au principe des pompes à action directe, semblaient de nature à entraver leur emploi pour les grands épuisements de mine. M. Davey a réussi à les annuler de la manière la plus habile, et à constituer, sur cette donnée, un appareil d'une complète docilité [1]. Il y est arrivé en combinant, avec la cataracte à vapeur et à étranglement régulateur dont nous avons parlé plus haut (n° 820), la distribution différentielle déjà imaginée par lui pour les machines à simple effet (n° 938).

D'une part, le moteur est alors parfaitement en main, et l'on peut, à volonté, par la manœuvre d'un unique robinet, lui communiquer une allure précipitée, ou le ralentir indéfiniment, et même l'arrêter complètement. D'autre part, indépendamment de cette intervention arbitraire de la volonté de l'homme, il subit

[1] Hirsch, *Rapports du jury international de l'Exposition de* 1878, groupe VI, classe 54, p. 252. — *Engineering*, 24 septembre 1875, 250 ; 26 novembre 1875, 412.

MM. Cope et Maxwell ont établi une combinaison différentielle analogue (*Engineering*, 1875, t. II, 57 ; 1876, t. II, 57).

automatiquement l'influence de sa propre marche, et régularise de lui-même la distribution, de manière à uniformiser sa vitesse, en effaçant les modifications de hasard, auxquelles il peut se trouver exposé.

Cet appareil est tellement caractéristique que j'entrerai, à son égard, dans des détails circonstanciés.

949 — La figure 616 montre en A le cylindre à vapeur, surmonté de sa boîte de distribution B. La tige C du piston actionne directement les pompes D. Elle porte, en outre, un appendice E qui, par l'intermédiaire de la bielle EF, gouverne le levier différentiel FG. Ce dernier commande en G la tringle du tiroir B. Il est lui-

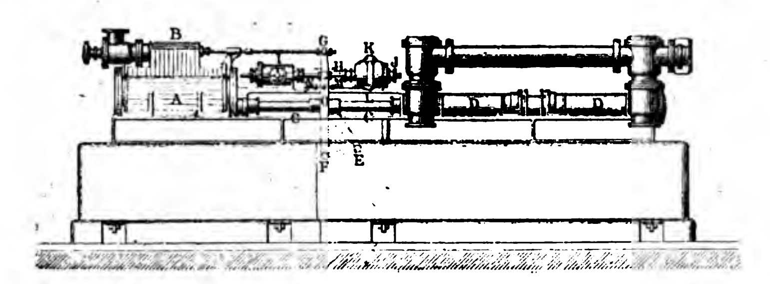


Fig. 616. Pompe à vapeur Davey, à traction directe et distribution différentielle.

même sollicité en H par la tige IJ de la cataracte. Celle-ci comprend le cylindre hydraulique I, dont l'étranglement est réglé par un petit volant, et le cylindre auxiliaire à vapeur J. La distribution K de ce dernier est menée par le levier KL, actionné lui-même par la tringle LMN, munie de deux taquets M et N, que la touche O du levier différentiel viendra, en temps voulu, heurter successivement. Indiquons d'abord le jeu normal de cet ensemble.

Supposons le tiroir B à cheval sur ses deux lumières, et la distribution K engagée de manière à solliciter vers la gauche la cataracte I. Cette dernière actionne en H le levier différentiel, qui poussera vers la gauche la tringle GB, et démasquera la lumière de droite, en refoulant à gauche le piston A. Dès lors la potence E, en se portant du même côté, fera basculer le levier différentiel autour du point presque fixe H, et ramènera G vers la droite, ce

qui a pour résultat de couper la vapeur et d'effectuer la détente.

En outre, vers la fin de la course, la touche O viendra buter contre le taquet N, et tirera vers la gauche la tringle NML, en faisant basculer le levier LK, et renversant le sens de la distribution K, pour effectuer la course inverse dans des conditions absolument semblables.

950 — Tel est le jeu normal. Indiquons maintenant comment il subit la double régularisation dont j'ai parlé : volontaire ou automatique.

La première est uniquement due à l'influence du robinet d'étranglement I qui, en créant pour la vapeur K une résistance arbitraire, laisse arriver plus ou moins tôt la tige IJ dans la situation qui ouvre l'admission par la tringle GB. On peut ainsi communiquer au moteur le rythme général que l'on juge à propos de lui donner, en effectuant, en temps voulu, l'ouverture de l'admission.

La seconde influence régulatrice est puisée dans la marche elle-même, pour couper plus ou moins tôt la vapeur. Supposons, en effet, qu'un défaut de résistance appelle la machine à s'emporter. La potence E allant trop vite, fera, par la bielle EF, basculer plus tôt qu'à l'ordinaire le levier FG, autour du point sensiblement fixe H. Elle repoussera prématurément la tringle B, en raccourcissant ainsi l'admission. De là, une diminution dans la quantité de vapeur introduite, un affaiblissement de la puissance, et un ralentissement qui ramène à l'allure normale.

L'inverse se produira, si un excès de résistance tend à alourdir l'allure. L'admission restera, dans ce cas, ouverte plus longtemps, le piston engendrera en pleine pression une fraction plus considérable du volume total du cylindre, et le moteur retrouvera ainsi un supplément de puissance, pour lutter efficacement contre l'obstacle.

§ 5

MOTEUR A DOUBLE EFFET A VOLANT ET CATARACTE

951 — M. Kley a établi, en 1876, pour les mines de Bleialf (Prusse), un type de machines très remarquable, qui participe de chacune des deux classes précédentes [1]. Elles sont, en effet, à double effet, munies d'un arbre de rotation et d'un volant ; et, cependant, elles ont une allure intermittente gouvernée par une cataracte. Expliquons successivement comment ces caractères, en apparence si opposés, ont pu être conciliés dans un même appareil, et quels avantages on attend de leur association (fig. 617) [2].

La vapeur agit également sur les deux courses du piston, d'après l'aménagement qui a été expliqué ci-dessus (n° 943). C'est une cataracte à huile qui est chargée d'ouvrir l'admission, pour la course descendante du piston destinée à enlever la maitresse tige. La course ascendante lui succède sans interruption. Pendant cette révolution de l'arbre, la machine opère elle-même les autres fonctions de la distribution, à savoir : la détente, très prolongée en vue de l'économie, l'échappement, la compression, et même l'admission de la course ascendante qui succède au mouvement descendant. Le volant commence par emmagasiner l'excès de force vive, déve-

(1) *CRM*, 5 mai 1877, 40, Crozet.—*Œsterreichische Zeitschrift*, 1882, 15, 34; 1883, 670.

(2) Cette machine a été établie, sur les plans de M. Kley, par les ateliers de la Salm'schen Maschinenfabrik à Blansko (Moravie), pour le puits Heinrich de la Société Kaiser-Ferdinand-Nord-Bahn, situé à Mährish-Ostrau, dans la même province.

Elle est à cylindre unique de 1m,00 de diamètre et 1m,90 de course. Le balancier présente deux bras dont les longueurs sont doubles l'une de l'autre (n° 937). A l'extrémité du plus court, s'articule la bielle de la maîtresse tige. Celle-ci appartient au type crucial représenté par la figure 601, et pèse 37 1/2 tonnes. En un point intermédiaire se trouve la tige de la pompe à air. Au milieu du grand bras, la tige du piston se relie à un parallélogramme de Watt simplifié. L'extrémité actionne la bielle du volant. Entre les deux flasques du balancier, on a installé un disque contrepoids de 10 1/2 tonnes. La distribution est à soupapes, manœuvrées par un jeu de fer. L'admission dure pendant un tiers de la course.

Trois pompes foulantes servent à atteindre le niveau de 200 mètres, et deux pompes aspirantes et foulantes, à descendre 60 mètres plus bas. La venue d'eau, de 650 mètres cubes en vingt-quatre heures environ, s'est trouvée parfois doublée. Le poids total de la machine est de 73 tonnes.

loppé au début de chacune de ces deux courses simples par l'attaque de la pleine pression. Il restitue cette puissance en fin de course, de manière à atténuer la trop grande irrégularité que produiraient, sans cela, cette longue détente et la forte compression. Seulement ce volant est *paresseux*, et calculé rigoureusement de manière à ne pas dépasser une révolution. La machine s'arrête ainsi

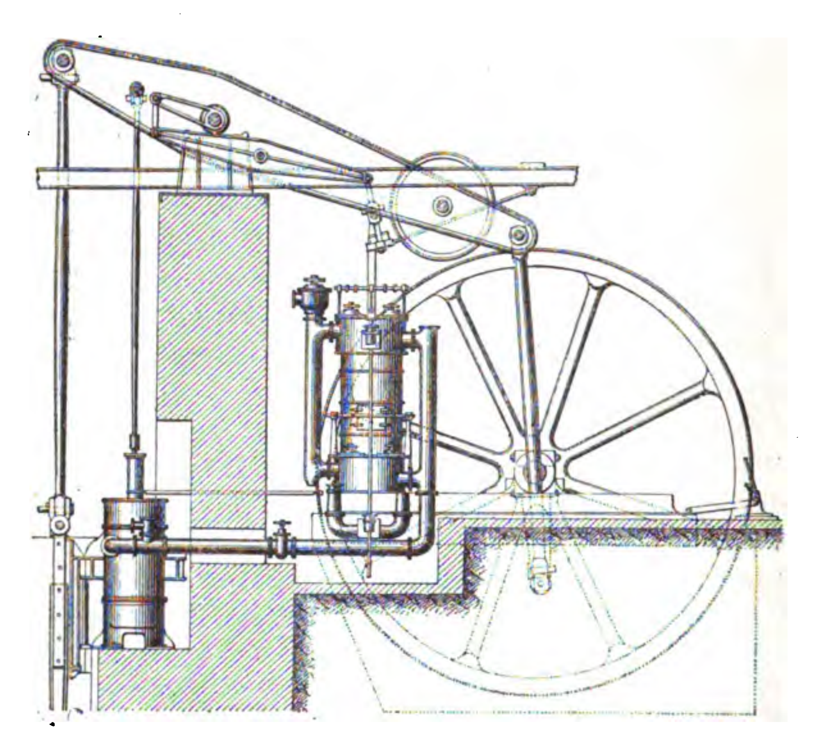


Fig. 617. Machine d'épuisement de Kley, à volant et à cataracte.

après avoir fourni son coup double, tout comme dans le simple effet; et elle restera en repos jusqu'à ce que la cataracte, que le mouvement de l'appareil a remontée pendant ce temps, déclanche de nouveau l'admission au bout d'un temps arbitraire, pour fournir un nouveau coup double.

952 — On trouve à cette combinaison l'avantage d'établir une liaison cinématique, qui détermine rigoureusement la course du

piston. Nous avons vu que, dans les machines à simple effet, cette excursion est arbitraire, et ne se limite que par le jeu relatif de la puissance et de la résistance. Tout au plus, dispose-t-on un tampon de choc, pour obvier aux inégalités imprévues et achever d'arrêter le piston, s'il arrive que la vitesse ne décroisse pas assez vite. Mais il est clair que ce tampon peut être brisé, et le fond emporté par le piston, lorsque celui-ci se trouvera lancé trop violemment. C'est justement ce qui arriverait pour une tige brisée, une pompe désamorcée, une fuite qui se déclarerait subitement. La résistance normale se trouvant alors supprimée, la machine s'emporterait sous l'influence de la puissance, privée de son antagonisme habituel.

Avec la disposition actuelle, au contraire, le piston ne peut dépasser un maximum d'excursion, déterminé géométriquement par l'instant où la bielle se trouve dans l'alignement de la manivelle. Cette dernière stoppe toujours un peu en avant ou en arrière de ce point mort, afin que la machine reste prête à entrer en mouvement par la nouvelle admission. Si la manivelle s'arrête avant le point mort, elle retournera en arrière, et le volant prendra un mouvement pendulaire intermittent, dont les oscillations seront très voisines de 360 degrés. Si l'arrêt a lieu un peu en arrière du point mort, ce que l'on peut régler à volonté, l'arbre possède un mouvement intermittent, mais progressif.

En cas de rupture de tiges, si la machine n'est pas détruite du premier coup, on obtient ce résultat très remarquable, que, loin de devenir ingouvernable, elle s'arrêtera docilement d'elle-même, après avoir simplement achevé le coup double commencé. En effet, en raison de l'excès de puissance qui vient déranger les calculs habituels, le volant, au lieu de s'arrêter doucement au point ordinaire, après avoir achevé la double course, dépassera évidemment cette limite. Une nouvelle course descendante commencera donc sans discontinuité pour le piston, et, dès lors, l'organe habituellement chargé de remonter la tige de la cataracte, après qu'elle a donné le signal d'une nouvelle course, en débouchant l'admission à l'instant où elle achève de descendre, quand on lui en laisse le temps, rencontrera, dans cette précipitation, la tige en question pendant qu'elle est en train de descendre. Il la refoulera donc,

avant qu'elle ait pu, en achevant son mouvement, aller rouvrir la soupape d'admission. La course se continue par conséquent sans vapeur, et uniquement en raison de la force vive surabondante de la révolution précédente. Dès lors, il est clair que la machine ne tardera pas à s'arrêter.

953 — A cet avantage capital de concilier ainsi la sûreté due au mécanisme de rotation, avec les facilités, précieuses pour l'épuisement des mines, que procure le jeu intermittent produit par la cataracte, il convient d'ajouter l'emploi de la longue détente, que permet la présence d'un volant, capable, quoique paresseux, de masquer une partie des irrégularités de la révolution, tout en conservant l'allure ralentie et mourante aux extrémités, qui est propre aux machines à simple effet, et si bien en rapport avec le jeu des soupapes, en leur laissant le temps d'accomplir leur mouvement.

Ajoutons encore que les deux sortes de distribution sont indépendantes, et que chacune d'elles, en état de fonctionner seule, peut être isolée au moyen d'un débrayage, s'il arrive que l'autre se trouve avoir besoin de réparations; circonstance d'une grande valeur, car l'épuisement est un service qui ne saurait attendre. Cette indépendance des deux modes de distribution communique à ces moteurs mixtes une grande élasticité. Avec la cataracte, on peut abaisser la rapidité de la marche jusqu'à moins d'un coup double par minute. En la supprimant, on arrive à porter l'allure au degré maximum que comportent les machines de rotation. M. Voigt a également imaginé, pour ces belles machines, un dispositif qui permet de marcher sans intermittence, quand on le juge à propos [1].

§ 6

RÉGÉNÉRATEUR BOCHKOLTZ

954 — Un perfectionnement ingénieux a été introduit par M. Bochkoltz dans les machines d'épuisement, sous le nom de *régé-*

[1] Julius von Hauer (*Berg und Hüttenmännisches Jahrbuch*, XXXII, 1884, pl. I, fig. 1 à 5).

nérateur de force [1]. Comme un clapet, quelle que soit sa forme, présente nécessairement une certaine surface de contact avec son siège, la pression s'exerce sur une étendue plus grande par-dessus que par-dessous [2]. Il s'ensuit qu'il faut, pour soulever cette soupape, un excédent de force motrice, qui n'a d'ailleurs besoin de s'exercer que pendant un temps extrêmement court. Dès que le clapet est disjoint de son appui, cette différence devient inutile, puisqu'une même pression enveloppe alors le corps solide dans toutes ses parties.

Cependant cette force ne saurait être instantanément anéantie, attendu qu'on la réalise au moyen d'un excès de poids dans la maîtresse-tige foulante, ou de vapeur motrice dans la pompe élévatoire. Il s'ensuivrait donc des accélérations funestes, si l'on n'arrivait pas à créer de suite des résistances spéciales, en antagonisme avec cette puissance remise en liberté. Il est possible d'y parvenir en étranglant la vapeur avec la soupape d'équilibre. Toutefois, on ne saurait voir là qu'une solution imparfaite.

955 — M. Bochkoltz en a indiqué une extrêmement simple [3].

(1) Bochkoltz : *Le régénérateur de force*, 1869, Valenciennes. — *Le régénérateur*, etc., 1873, Vienne. — Note, etc. (*Rev. univ. d. m. et u.*, 1re, XXI, 389 ; XXII, 232).

Leseurre : *Sur le régénérateur de force* (*Bull. min.*, 1re, XIV, 387 ; 2e, II, 133).

Pernolet : Notes et expériences, etc. (*Annales*, 7e, I, 342 ; IV, 8. — *Bull. min.*, 2e, I, 601).

Articles divers (*CRM*, 1876, juin, 36. — *Rev. univ. d. m. et u.*, 1868, 185 ; 1869, 258 ; 1872, 389 ; 1873, 233).

(2) Il convient, à la vérité, de dire tout d'abord que les constructeurs se sont efforcés de réduire de plus en plus cette portée, ce qui tend à restreindre d'autant l'utilité effective du système. Cependant le rapport, que M. Bochkoltz estimait à 1365 environ, ne saurait être réduit au-dessous d'une certaine limite, sous peine de fatiguer outre mesure, dans les batteries, les sièges métalliques.

Ajoutons que M. Trasenster avait émis des doutes relativement à l'existence de la surpression (*Rev. univ. d. m. et u.*, 1re, XXXII, 310), et que récemment M. Riedler (*Indicator Versuche an Pumpen und Wasserhaltungs-Maschinen*. — *Rev. univ. d. m. et u.*, 2e, XV, 108) vient d'énoncer, à la suite de nombreuses expériences, que cette surpression n'existe pas. Cette assertion réduirait donc l'importance du régénérateur au second genre d'utilité qui va être expliqué plus loin (n° 956).

(3) Il en a même indiqué une seconde, fondée sur l'emploi de l'air comprimé, dont l'usage ne semble pas s'être répandu (*Annales*, 7e, I, 352). — *Œsterreichische Zeitschrift für Berg-und-Hüttenwesen*, 1880, 69. — Uhland, *Maschinenkonstrukteur*, 1869, II, 312).

Une troisième solution très simple consiste dans l'emploi d'un piston plongeur con-

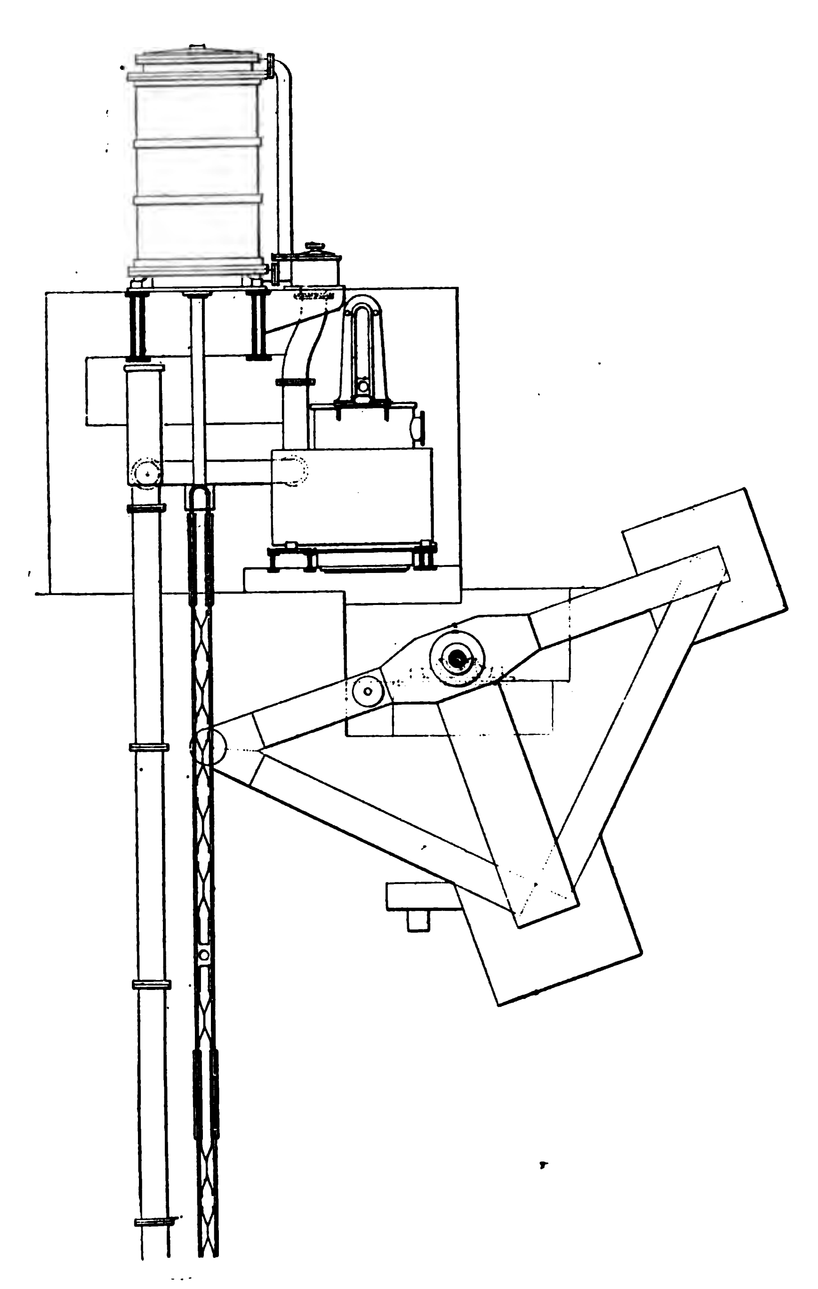


Fig. 618. Régénérateur Bochkoltz.

Elle consiste en un contre-poids spécial (fig. 618) ([1]), que l'on place à l'extrémité d'un bras de levier, assemblé à angle droit sur le milieu du balancier ordinaire de l'attirail.

Au plus haut de son oscillation, ce balancier se trouve en OA (fig. 619), la bielle A*a* le relie à la tige *at*, et le bras est en Oα. Dans la position moyenne, l'ensemble αOA*at* de ces trois pièces est devenu βOB*bt*, et, au plus bas, il occupe la situation γOC*ct*. On voit par là que, dans les premiers moments de la course, le contre-poids α vient en aide à la puissance, car la pesanteur agit par l'une de ses composantes,

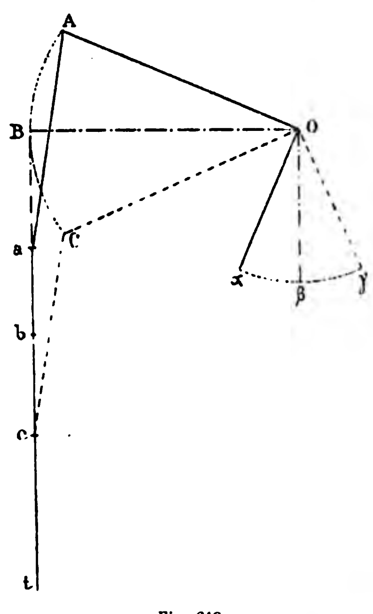


Fig. 619.

jugué avec l'ensemble du système. A l'origine du mouvement, il pèse de tout son poids, en aidant le moteur, mais il pénètre de suite dans un bain liquide où il perd progressivement une partie de ce poids, d'après le principe d'Archimède (Köhler, *Lehrbuch der Bergbaukunde*, 577).

([1]) Cette machine a été construite à Anzin, par M. de Quillacq, pour la fosse n° 4 de Roux (Nord de Charleroi). Le cylindre est à enveloppe de vapeur, sur 1m,40 de diamètre et 2m,30 de course. Le diamètre des soupapes est de 0m,215 pour l'admission et l'équilibre; 0m,255 pour l'échappement. La pompe à air présente 0m,86 de diamètre et 0m,83 de course. A une pompe aspirante et foulante de 16m,00 d'élévation et 0m,33 de diamètre, succèdent quatre pompes foulantes, ayant chacune 57m,35 de hauteur et 0m,30 de diamètre.

La vitesse est de huit coups par minute et la levée de 2m,26. Le poids des colonnes d'eau 17 840 kilogrammes; le travail utile 40 400 kilogrammètres, et celui de la vapeur 50 260. Le poids de l'attirail se décompose de la manière suivante :

Maîtresse-tige et pièces en mouvement. . . .	48 780 kilogrammes
Balancier.	6 400 —
Caisse de contre-poids.	32 540 —
Bochkoltz.	34 420 —
Total.	122 140 kilogrammes.

On a donné au Bochkoltz une importance deux fois plus grande que le nécessaire, en prévision du doublement futur de la profondeur. Il présente la forme d'une ferme renversée. Ses trois bras ont 3m,55 de longueur (*Bull. min.*, 2e, I, 606. Pernolet. — *Le Régénérateur de force*. Vienne, 1873, p. 7, Bochkoltz).

pour le faire descendre sur l'arc de cercle $\alpha\beta$. Mais cette force devient de suite négligeable, en même temps que l'inclinaison de cette trajectoire. Vers la fin de l'oscillation, le contre-poids doit, au contraire, gravir la pente $\beta\gamma$, en consommant, pour cela, une portion du travail moteur exactement égale à l'appoint qu'il lui avait apporté au début.

Il ne produit donc, comme c'était d'ailleurs bien évident *a priori*, qu'un simple déplacement dans la répartition de ce travail. Mais cette modification est doublement avantageuse, car elle intervient, à la fois, pour fournir le coup de collier qui est nécessaire au premier instant, et pour amortir, vers l'extrémité, la force vive qu'il est désirable de voir aller en mourant et sans choc final.

956 — Mais il y a plus, et on lui doit une seconde influence favorable. Puisque, en effet, l'on réalise deux coups de collier : l'un moteur dans les premiers instants, et l'autre résistant vers la fin, la machine se trouve lancée plus vite au début, et ne commence que plus tardivement l'amortissement de sa force vive. Pour ce double motif, on obtient une allure *moyenne* plus vive, et le temps *total* de l'oscillation se trouve diminué.

On peut, par conséquent, sans subir pour cela d'une manière plus marquée les inconvénients qui résultent d'une marche rapide, donner, dans un même temps, un plus grand nombre de coups de piston. Il s'ensuit finalement que l'on n'aura besoin, pour effectuer un épuisement donné, que d'un moteur moins volumineux.

MM. Bochkoltz, Riedrich et Hraback ont annoncé, comme résultat de leurs expériences sur cet appareil, une économie de 10 à 15 pour 100 environ.

957 — M. Rossigneux a proposé, pour le contre-poids, une disposition nouvelle (¹). Au lieu de l'assujettir à tourner autour de l'axe du balancier, il le fait rouler sur un plan fixe, sous la forme d'un cylindre, mais en ayant soin de choisir, pour le profit de ce rouleau, la courbe la plus propre à faire varier le bras de levier

(¹) *Bull. min.*, 2ᵉ, VII, 407. — *CRM*, 1876, juin, 35.

suivant les besoins de la question, au lieu de s'assujettir gratuitement à une trajectoire absolument déterminée, de forme circulaire.

Il est clair que la solution théorique s'en trouve améliorée, mais on peut craindre que la perte de la simplicité ne compense, et au delà, pour ces lourdes masses, l'avantage ainsi réalisé.

§ 7

CALCUL DU MOTEUR

958 — 1° Machine a vapeur. — *Force en chevaux.* — La marche à suivre, pour établir l'avant-projet d'un appareil d'épuisement, ne variera que peu, suivant les types adoptés. Je me contenterai de l'esquisser, en supposant, pour fixer les idées, que le choix se soit arrêté sur une machine à simple effet du système compound, sans détente spéciale dans le petit cylindre.

Les données immédiates de la question sont la profondeur H exprimée en mètres, et l'entretien d'eau K en mètres cubes ou en tonnes, par journée de 24 heures.

On se donnera arbitrairement, d'après les conditions de l'exploitation, le nombre n d'heures que l'on veut consacrer chaque jour à l'épuisement.

A cet égard, il est à propos de se montrer très réservé, ainsi que pour la vitesse de marche, afin de se trouver toujours en mesure de maîtriser les plus grandes venues d'eau. Il suffit, par exemple, après avoir établi une marche normale sur la base de 5 coups par minute et 12 heures d'épuisement, de porter ces chiffres à 8 coups et 16 heures pour doubler l'activité; et ce ne serait même pas l'extrême limite, en cas de nécessité.

La valeur du nombre n d'heures d'épuisement ayant été une fois fixée, il suffit de diviser K par n pour le réduire en heures, et par 3600 pour le ramener à la seconde. En le multipliant, en outre, par 1000 pour le convertir en kilogrammes, on aura pour l'expres-

sion du *poids à élever par seconde,* en kilogrammes :

(1) $$\frac{5}{18}\frac{K}{n}.$$

Si nous multiplions par H, nous obtiendrons le travail réel par seconde, exprimé en kilogrammètres, et, en le divisant par 75, la *force effective* en chevaux :

$$\frac{1}{270}\frac{KH}{n}.$$

Quant au nombre de *chevaux indiqués,* nous l'évaluerons en divisant cette valeur par le rendement présumé λ [1], que l'on compte atteindre pour l'appareil. Il vient ainsi, pour la *force nominale* en chevaux :

(2) $$\varphi = \frac{1}{270}\frac{KH}{n\lambda}.$$

959 — *Cylindres à vapeur.* — On se donnera, d'autre part, le nombre m de coups de piston par minute. Le poids à élever en une minute s'obtient en multipliant la valeur (1) par 60. Pour en déduire celui de la cylindrée d'eau, nous diviserons par m. Nous aurons le travail effectif en multipliant par H, et le travail nominal en divisant par λ. Il vient donc, pour l'expression du *travail nominal d'une cylindrée de vapeur,* en kilogrammètres :

(3) $$\frac{50}{3}\frac{KH}{mn\lambda}.$$

Donnons-nous encore le timbre k de la chaudière, le degré de détente $\frac{1}{N}$ que l'on veut réaliser, et la pression k' habituellement

(1) On peut admettre pour λ la valeur 0,70 dans une machine d'épuisement soigneusement établie (n° 913).

atteinte dans les condenseurs, évaluée, ainsi que k, en kilogrammes par centimètre carré. La force φ s'exprime alors par la formule connue ([1]) :

$$\varphi = 2,222\, mk\mathrm{V}\left(1 + \text{Log. nép. N} - \frac{k'}{\mathrm{N}k}\right),$$

en désignant par V le volume de vapeur sous pleine pression, c'est-à-dire, dans le cas actuel, la *capacité du petit cylindre*. Comme nous connaissons d'ailleurs (2) la valeur de φ, nous tirerons de cette équation celle de V.

Le *volume du grand cylindre* s'en déduit d'après la loi de Mariotte, que nous admettrons pour la détente pratique de la vapeur ([2]), et sur laquelle est d'ailleurs fondée la formule précédente. Il aura donc pour valeur NV.

D'après cela, si l'on se donne la course l de leurs pistons, les *sections* de ces deux cylindres seront respectivement, en mètres carrés :

$$(4) \qquad \frac{\mathrm{V}}{l}, \qquad \frac{\mathrm{NV}}{l},$$

et leurs *diamètres*, en mètres :

$$d = 2\sqrt{\frac{\mathrm{V}}{\pi l}}, \qquad \mathrm{D} = 2\sqrt{\frac{\mathrm{NV}}{\pi l}}.$$

960 — 2° Pompe. — *Corps de pompe*. — Le volume à élever par coup double est, en mètres cubes :

$$\frac{\mathrm{K}}{60\, mn}.$$

([1]) Zeuner, *Théorie mécanique de la chaleur*, traduction de Cazin, 541.

([2]) Couche, *Voie, matériel roulant et exploitation technique des chemins de fer*, III, 756.

Si l'on admet le rendement géométrique λ' [1], on aura pour le ***volume du corps de pompe,*** en mètres cubes :

$$\frac{1}{60}\frac{K}{mn\lambda'}.$$

La ***section*** sera, d'après cela, en mètres carrés :

$$(5) \qquad \frac{1}{60}\frac{K}{mn\lambda' l}.$$

et le ***diamètre***, en mètres :

$$\delta = \sqrt{\frac{K}{15\pi mn\lambda' l}}.$$

961 — ***Maîtresse-tige.*** — La tige doit être capable d'exercer l'effort de refoulement 1000 H par unité de surface. Pour la section (5) du corps de pompe, il faudra donc la force :

$$\frac{50}{3}\frac{KH}{mn\lambda' l}.$$

En admettant que le poids de cet organe doive être majoré dans le rapport λ'' [2], pour être capable d'imprimer, en dehors de l'équilibre, les accélérations nécessaires en surmontant la force d'inertie, il viendra, pour le ***poids de la maîtresse-tige*** en kilogrammes :

$$(6) \qquad p = \frac{50}{3}\frac{KH\lambda''}{mn\lambda' l}.$$

962 — ***Attirail.*** — Pour déterminer l'attirail, nous construirons un tracé graphique (fig. 620) pour étudier la répartition du travail,

[1] Nous avons vu (n° 913) que ce rendement peut être pris avec un minimum de 0.75.

[2] En général, on prend un dixième en sus, c'est-à-dire $\lambda'' = \frac{11}{10}$.

en prenant pour ordonnées les efforts, et pour abscisses les longueurs parcourues, de telle sorte que AA′ représente, à l'échelle, la course du piston.

La force motrice totale étant la somme algébrique des actions subies par les deux pistons de la part du générateur, de la détente et du condenseur, nous commencerons par porter en AB celle qui est exercée, d'une manière constante, par la pleine pression sur le petit piston :

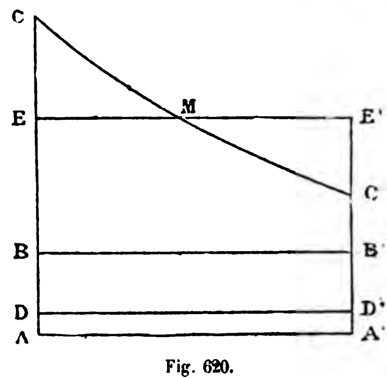


Fig. 620.

$$k \,.\, 10000 \,.\, \frac{V}{l} \,.$$

Il reste à élever au-dessus de la droite BB′ une verticale représentative de la force imprimée au grand piston par la détente, défalcation faite de celle qui agit en sens inverse, de la part de cette même cylindrée, sur le petit piston, c'est-à-dire, en définitive, celle qui sollicite la différence $(N-1)\frac{V}{l}$ de leurs sections (4). Quant à la pression par unité de surface, elle est, au premier instant, égale à celle $k \,.\, 10000$ de l'admission, ce qui donne pour l'effort initial la valeur :

$$k \,.\, 10000 \,.\, (N-1)\, \frac{V}{l},$$

que nous portons en BC. D'après la loi de Mariotte, il devient, pour le dernier instant :

$$k \,.\, 10000\, \frac{N-1}{N}\, \frac{V}{l},$$

valeur représentée par B′C′. Dans l'intervalle, sa variation dessinera l'hyperbole équilatère CC′, qui admet pour asymptote BB′.

Il nous faut enfin, pour obtenir la force effective, retrancher uniformément, pendant toute la course, la contre-pression $k'.10000$ du condenseur qui s'exerce uniquement sur le grand piston, en déterminant l'effort :

$$k'.10000.\frac{NV}{l},$$

que nous construisons en AD.

De cette manière donc, la force définitive varie de DC à D'C', et le travail moteur se trouve figuré par l'aire CC'DD'.

963 — La résistance statique à vaincre par la vapeur dans la course ascendante est le poids p de la tige, dont nous possédons la valeur (6), et que nous portons, à la même échelle, en DE. Le travail résistant se trouve donc représenté par l'aire DD'EE', qui, d'après la marche suivie pour ce calcul, sera équivalente à CC'DD'.

Seulement on voit, qu'au commencement, le travail moteur l'emporte sur le travail résistant, et détermine une accélération, jusqu'à l'instant correspondant au point M. A ce moment donc, le système possède sa demi-force vive maximum :

$$(P+p)\frac{v^2}{2g},$$

si v désigne la vitesse maxima [1], et P le poids inconnu des masses accessoires de l'attirail, qu'il faut adjoindre à celui p de la maîtresse-tige. A partir de cet instant, le travail moteur se trouve en déficit, et la force vive s'amortit progressivement jusqu'à la fin.

L'excès MCE de travail moteur, dans la première phase, est nécessairement égal à celui MC'E', du travail résistant pendant la seconde. Supposons que l'une et l'autre de ces deux aires aient pour valeur

[1] Nous supposons, pour simplifier, que le contre-poids soit réduit à un point, et que le balancier ait des bras égaux, de telle sorte que le contre-poids soit animé de la même vitesse que la tige. Si les rayons sont inégaux, on remplacera P par P $\frac{R^2}{r^2}$, en appelant R celui du contre-balancier, et r la distance de la maîtresse-tige à l'axe de rotation.

la fraction $\frac{1}{\alpha}$ de CC'DD', ou de DD'EE'; rapport qu'il sera aisé de relever sur l'épure. L'excédent de puissance sera égal à la fraction $\frac{1}{\alpha}$ du travail d'une cylindrée, dont nous possédons l'expression (3). De là l'égalité :

$$(P + p) \frac{v^2}{2g} = \frac{50}{3} \frac{KH}{mn\lambda},$$

qui permettra de connaître P, après que l'on se sera fixé la vitesse v que l'on ne veut pas dépasser.

Pour le choix des diverses quantités arbitraires qui figurent dans ces opérations, on pourra se guider d'après le tableau suivant [1], qui présente les éléments comparatifs d'un certain nombre d'appareils d'épuisement de mines.

[1] Dressé à l'aide des documents renfermés dans l'agenda-Dunod pour les mines, 1882.

DÉSIGNATION				PROFONDEUR	ENTRETIEN D'EAU PAR 24 HEURES	JEU DE FOND ASPIRANT ET ÉLÉVATOIRE				
MINES	RÉGIONS	TYPES DE MACHINES				HAUTEUR TOTALE	HAUTEUR ASPIRANTE	NOMBRE DE POMPES	DIAMÈTRE DU PISTON	COURSE DU PISTON
				mèt.	mèt. c.	mèt.	mèt.		mèt.	mèt.
Produits	Mons	Simple effet :	balancier . .	562	482	32	7,75	1	0,46	2,20
Bruay	Pas-de-Calais	Simple effet :	compound. .	550	1 200	»	»	»	0,65 / 1,20	2,50
St-Laurent	Creusot	Simple effet :	compound. .	420	3 000	20	»	2	0,38 / 0,76	4,00
Providence	Fiennes	Simple effet :	tract. directe.	400	5 000	25	»	1	0,63	4,15
Tuhan	Brandeils	Simple effet :	compound. .	350	8 500	15	»	2	0,48 / 0,96	3,16
Ste-Marie	Blanzy	Rotative : .	au fond. . .	330	3 200	30	»	2	0,32	1,10
Forster	Newcastle	Rotative : .	au fond. . .	219	3 800	14	3,70	1	0,38	1,22
Ste-Stéphanie	Moselle	Simple effet, avaleresse.		138	18 000	55	3,50	2	0,58	3,00
Monterrad	Loire	Rotative : .	au fond. . .	110	864	»	»	»	»	»
Page-Bank	Durham	Rotative : .	au fond. . .	21	800	»	»	»	»	»

JEUX FOULANTS				DIAMÈTRE DE LA COLONNE MONTANTE	MAITRESSE-TIGE			MOTEUR				
NOMBRE DE RÉPÉTITIONS	DIAMÈTRE DES PISTONS	COURSE DES PISTONS	NOMBRE DE COUPS SIMPLES PAR MINUTE		MATIÈRE	NOMBRE DE TIGES	SECTION	NOMBRE DE CYLINDRES	DIAMÈTRE DU PISTON	COURSE DU PISTON	PRESSION PAR MÈTRE CARRÉ	NOMBRE DE COUPS DOUBLES PAR MINUTE
	mèt.	mèt.		mèt.			mèt. q.		mèt.	mèt.	kilogr.	
10	0,36	2,20	4,0	0,40	Sapin	2	0,14	1	2,38	2,70	2,00	4,0
»	0,30	2,50	6,0	»	»	»	»	»	»	»	5,50	6,0
5	0,50	4,00	3,5	0,50	Sapin	2	0,38	1	1,85	2,00	5,00	3,5
6	0,60	4,15	4,0	0,50	Fer	2	0,16	1	2,66	4,15	3,75	4,0
5	0,64	3,16	8,0	»	Fer	2	»	1	1,10	3,16	4,70	8,0
1	0,21	1,10	36,0	0,20	Fer	2	»	2	0,85	1,10	4,75	18,0
1	0,28	1,22	50,0	0,30	Fer	1	»	1	1,22	1,22	4,00	25,0
»	»	»	9,0	0,65	Chêne	1	0,50	1	2,00	3,00	6,00	9,0
1	0,14	1,00	50,0	0,21	Fer	1	»	1	0,40	1,00	5,00	25,0
2	0,22	0,61	40,0	0,15	fils d'acier	2	0,28	1	0,41	0,76	3,00	20,0

CHAPITRE XL

MOYENS DIVERS D'ÉPUISEMENT

—

§ 1

POMPES CONTINUES

964 — *Pompes rotatives.* — L'insistance persévérante avec laquelle les inventeurs ont cherché à substituer au moteur à vapeur à piston les machines rotatives, s'est accompagnée d'une tendance semblable pour les pompes d'épuisement (fig. 621, 622, 623), dans le but de réaliser un débit considérable sous un faible volume, en raison de la rapidité que permet le remplacement du mouvement alternatif par le mouvement continu, sans points morts et sans chocs.



Fig. 621. Pompe rotative Behrens.

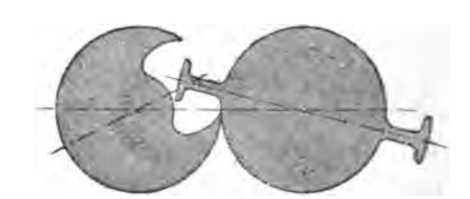


Fig. 622. Pompe rotative de Greindl.

Cependant les deux questions sont loin d'être identiques. Cette grande rapidité, sans inconvénient pour les appareils à vapeur est, au contraire, nuisible en principe, pour le mouvement d'un fluide aussi dense que l'eau.

En second lieu, le changement progressif que subit le volume des compartiments compris entre un coursier fixe et les cloisons mobiles, et dont s'accommodent facilement les milieux élastiques, est incompatible avec l'incompressibilité du liquide. Ces variations, difficiles à éliminer, déterminent, comme conséquence, des fuites énergiques à travers les jeux, inévitables en pratique et, en outre, nécessaires à ce point de vue même. Il s'ensuit une usure rapide, encore augmentée, dans l'application aux épuisements souterrains, par l'impureté de certaines eaux quartzeuses. Cet effet est d'autant plus fâcheux, qu'au lieu de nécessiter simplement le remplacement de quelques garnitures de cuir, il entraîne souvent la mise au rebut d'organes métalliques essentiels.

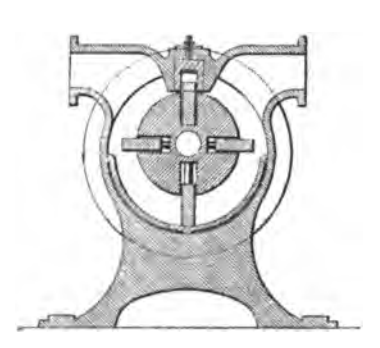


Fig. 623.
Pompe rotative Malcotte.

Remarquons encore que les clapets de la pompe ordinaire remplissent l'office de soupape de sûreté, si la pression vient à dépasser certaines limites, tandis qu'avec les tensions développées dans des espaces géométriquement déterminés, par le jeu de pièces qui se meuvent d'une manière inexorable, on peut arriver à déterminer une fatigue extrême des organes, sans même vouloir supposer ici la rupture.

Pour ces derniers motifs, les *pompes rotatives* (¹) ne conviennent qu'à de faibles élévations d'eau. Elles exigeraient donc la disposition en répétitions beaucoup trop multipliées, si l'on voulait en faire l'application pour des hauteurs de quelque importance. Ces dispositifs ont d'ailleurs été variés indéfiniment (²), et quelques-uns des types

(¹) *Bull. min.*, 2ᵉ, VIII, 840, Buisson. — *CRM*, 1878, 60, Baretta. — *Engineering*, 1875, 5 février, 99, 202; 28 mai, 443; 6 août, 122; 22 octobre, 332. — Hirsch, *Rapports du jury international de l'Exposition de* 1878, groupe VI, classe 54, p. 340. — Poillon, *Traité théorique et pratique des pompes*, 221. — Serlo, *Leitfaden zur Bergbaukunde*, II, 409.

(²) Pompes Baker, Bartrum, Behrens, Bramah, Bredo, Coignard, Cooke, Durot, Eré-

ainsi créés présentent des combinaisons cinématiques extrêmement ingénieuses, dont le détail ne saurait trouver place ici.

965 — *Pompes centrifuges.* — Les pompes rotatives agissent comme volumogènes [1]. Mais on en a établi, sous le nom de *pompes à force centrifuge* [2], qui fonctionnent comme déprimogènes. Elles échappent au défaut signalé ci-dessus, relativement à l'étanchéité des cloisons, en particulier pour les eaux très sales, auxquelles elles conviennent directement. Mais elles n'utilisent qu'une faible partie du travail moteur. L'économie réalisée sur le prix de premier établissement est donc bientôt compensée par l'excès de dépense de combustible, qui est proportionnel au travail produit. Enfin la hauteur pratique d'élévation est encore moindre que pour les appareils précédents [3].

966 — *Pompes à double effet.* — On a cherché à concilier les difficultés dont il vient d'être question, avec les avantages, très

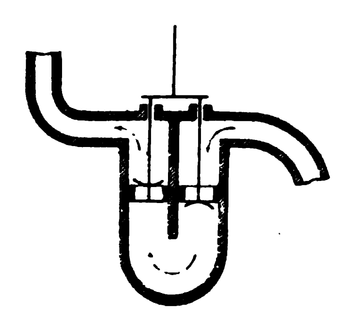


Fig. 624. Pompe à double effet Farcot (diagramme schématique).

réels, du courant continu et sans chocs, dans la construction de *pompes à double effet*, telles que celle de Farcot (fig. 624).

mac, Greindl, Grossert et Dietz, Heussy, Hirt, Houyoux, Lacour, Lawrence et Portes, Mac-Farland, Malcotte, Moret et Broquet, Nines, Ortmanns, Pappenheim, Powell, Ramelli, Ritz Schweizer et Nebelé, Root, Rouffet, Samain, Stolz, Thiébault, Vialatte, Voss, etc.

(1) Voy. au n° 1074 la distinction entre les appareils volumogènes ou déprimogènes.

(2) Pompes Appold, Decœur, Gwynne, Harant, Hett, Jonval, Neut et Dumont, etc.

(3) Bresse, *Cours de mécanique appliquée*, II, 446. — Courtois, *Étude sur les pompes à force centrifuge*, 1881. — *Génie civil*, II, 228. — *Revue industrielle*, 1881, 373. — Armengaud, *Publication industrielle*, XIX.

La pompe Baillet et Audemar, établie dans le même ordre d'idées [1] (fig. 625), emploie quatre pistons Letestu (n° 922). Elle peut ainsi refouler l'eau à de grandes hauteurs, en raison de son étanchéité. La came en cœur [2] assure la circulation régulière du liquide sans arrêts ni rebroussements. Son allure peut donc être rapide ou ralen-

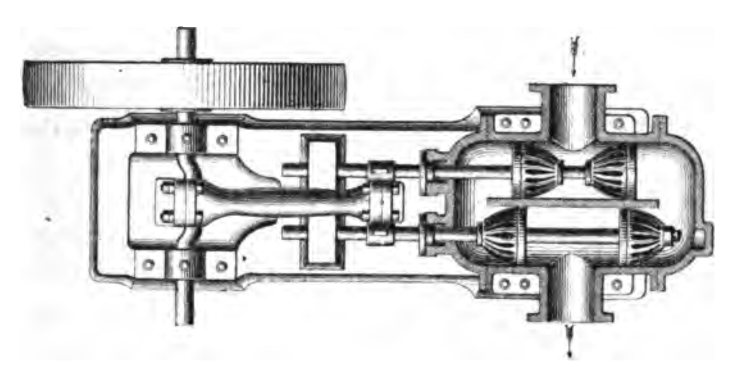


Fig. 625. Pompe à double effet Baillet et Audemar.

tie, le débit restant proportionnel au nombre de tours et à la force dépensée. L'eau, grâce aux sections offertes à son passage, y conserve une vitesse d'environ 1 mètre par seconde. Cette pompe occupe peu de place ; elle est d'une installation et d'un entretien faciles, et son prix est relativement économique.

La pompe sans limites de Prudhomme [3] présente, au jour, un cylindre et son piston, directement actionnés par un moteur à vapeur. La bielle d'eau [4] sert elle-même de renvoi de mouvement jusqu'au cylindre à clapets, installé dans le fond de la mine [5]. La figure 626 montre que, pour le mouvement indiqué par les flèches, le cylindre inférieur envoie en haut une double cylindrée. Comme, du reste, une seule peut trouver à se loger dans l'espace engendré par le piston supérieur, l'autre passe nécessairement dans le tube d'évacuation. En même temps, le cylindre supérieur renvoie en bas, par sa face de gauche, une cylindrée simple, pour

[1] *Bull. min.*, 2e, VIII, 835.
[2] Haton de la Goupillière, *Traité des mécanismes*, p. 83.
[3] *CRM*, 1877, janvier, 29.
[4] Suivant l'expression de M. Verpilleux (*CRM*, décembre 1876, p. 3).
[5] Voy. tome I, p. 782.

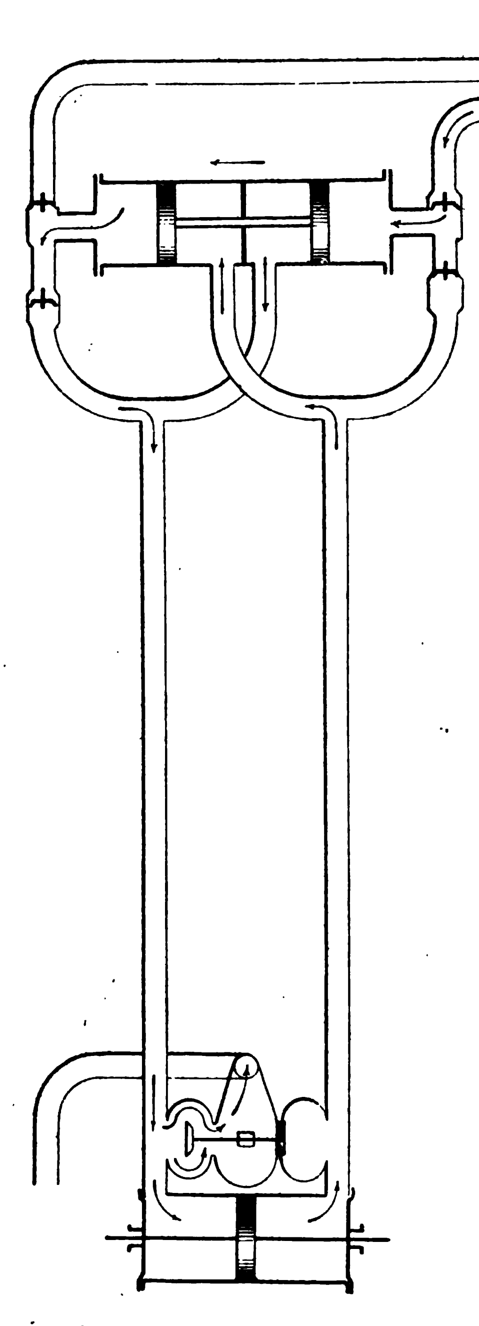


Fig. 626. Pompe sans limite Prudhomme.

remplir l'espace engendré par le double piston. Un volume égal est donc encore indispensable, en raison de l'insuffisance de celui-ci, et il arrive du puisard par le clapet d'introduction.

La même régularisation s'obtient encore avec la pompe *différentielle* de Kirchweger [1]. Imaginons que le piston creux d'une pompe élévatoire soit muni d'une grosse tige, dont la section soit égale à la moitié de celle du cylindre. Pendant la course descendante, l'introduction de cette sorte de plongeur dans le sein de la masse liquide chassera du corps de pompe la moitié du volume d'eau. Dans la course ascendante, le piston soulèvera tout ce qui reste, c'est-à-dire l'autre moitié.

[1] Burat, *Supplément au Cours d'exploitation des mines*, 78. — *Zeitschrift BHS*, XXII, 179 ; XXIII, 67. — *Œsterreichische Zeitschrift für Berg und Hüttenwesen*, XIV, 301. — *Berg und Hüttenmännisches Jahrbuch der Œsterr. Ungar. Bergakademieen*, XXIV, 311.

§ 2

POMPES A IMPULSION DE VAPEUR

967 — *Pulsomètre.* — On désigne sous le nom générique de *pompes à impulsion de vapeur* toute une classe d'engins, dans lesquels les distributions cinématiques ont été supprimées, et remplacées par le contact direct, s'opérant aux instants voulus, entre la vapeur et l'eau (1).

On ne peut nier, d'une part, que la simplification qui résulte de la suppression d'organes nombreux et compliqués, ne soit un avantage sérieux pour des appareils d'épuisement secondaires, mal situés dans des cavités d'accès difficile, et exposés à être noyés.

D'un autre côté, il est également évident que ces distributions seront plus capricieuses, et d'un jeu moins certain, que celles qui sont commandées par des connexions géométriques. En outre, la consommation de vapeur sera naturellement élevée, et le rendement défectueux. Ces appareils agissent en effet sans détente, et au contact de parois périodiquement refroidies par le contact de l'eau. On peut s'attendre à dépenser ainsi de trois à cinq fois plus de vapeur qu'avec une bonne pompe ordinaire.

Le premier exemple de l'application de ce principe original remonte à Manoury d'Ectot. On peut citer, dans le même ordre d'idées : le pulsateur Bretonnière (2), la pompe universelle de Hayward (3), la pompe Parker et Weston (4), le pulsomètre Degothal, la pompe pulsométrique Clermont (5), le pulsomètre de Hall (6), etc.

(1) Nous retrouverons une action analogue dans le lavoir à vapeur de M. Maximilien Evrard (chap. LII).

(2) *Bull. min.*, 2e, VIII, 844. — Hirsch, *Rapports du jury international de l'Expotion de* 1878, groupe VI, classe 54, p. 257. — Casalonga, *Chronique industrielle*, 1878, 263.

(3) *Engineering*. 1875, II, 45.

(4) *Engineering*, 1876, II, 120.

(5) *CRM*, 1880, 190.

(6) *Bull. min.*, 2e, VIII, 841. — *CRM*, 1879, 46, Brustlein. — *Journal des mines*, 1878, 67. — Hirsch, *Rapports du jury international de l'Exposition de* 1878, groupe VI, classe 54, p. 256. — De Maupeou, *Journal de mathématiques pures et appliquées*, août 1880. — C. Eichler, *über Pulsometer*, Berlin, 1878. — *Œsterreichische Zeitschrift für Berg und Hüttenwesen*, 1880, 289; 1883, 279. — *Zeitschrift BHS*, XXV, 235; XXVI,

968 — Dans ce dernier appareil (fig. 627), deux récipients, en forme de poire, sont réunis, par la base, au tuyau d'aspiration d'eau, ainsi qu'aux conduites élévatoires, et, dans la partie supérieure, à l'arrivée de vapeur. Un boulet métallique, en se portant alternativement d'un côté à l'autre, permet l'admission du fluide moteur dans chacune de ces capacités successivement.

Fig. 627. Pulsomètre.

Supposons, pour fixer les idées, que ce clapet vient de fermer le second compartiment, tandis que le premier a été préalablement rempli d'eau. La vapeur refoule ce liquide. Elle éprouve, bien entendu, une condensation partielle, mais dont l'importance se limite à l'influence d'une couche d'eau superficielle, en raison du peu de conductibilité de ce fluide. De plus, une certaine couche d'air aspirée à chaque coup, comme nous allons le voir, vient se loger sur la surface libre, qu'elle tend, pour le moment, à séparer de la vapeur. Le niveau s'abaissant progressivement, par suite du refoulement dans la conduite montante, la forme évasée du récipient, en augmentant peu à peu la section, réduit, en raison inverse, l'épaisseur du matelas d'air interposé. Lorsque ce dernier, ainsi aminci, parvient à l'ouverture du tuyau de refoulement, l'air barbote et s'échappe. Il s'ensuit une secousse générale, et un contact plus complet entre l'eau et la vapeur, qui subit par là une nouvelle condensation. Le vide ainsi produit dans cette capacité ramène le clapet d'évacuation, ouvre celui de l'aspiration et rappelle, d'autre part, le boulet qui, pendant toute cette phase, n'a pas cessé de

376; XXVIII, 247. — *Proceedings of the Institution of civil Engineers*, LVI. —*Engineering*, 1876, II, 56.

On peut encore rattacher à ce principe la pompe Gensoul, dont l'action est produite par une condensation de vapeur (Debette, *Annales*, 6ᵉ, I, 633). Mais cet appareil, qui a rendu des services dans certaines industries pour lesquelles l'eau a besoin d'être chauffée, ne paraît pas avoir été employé dans les mines.

fermer le second récipient à son collet supérieur. La condensation se complète dans le précédent, et l'eau s'y trouve aspirée du puisard ; mais, avant elle, un peu d'air, qui formera tampon de choc au moment où le liquide parvient à la partie supérieure, et, en outre, jouera, dans la course suivante, le rôle séparateur dont il a été question. Tout recommence alors, avec interversion des rôles entre les deux compartiments.

Cet appareil est très commode. Ses moyens d'installation se réduisent, au besoin, à une simple chaîne de suspension, servant à le descendre dans une cavité inaccessible, et à le remonter en temps et lieu. Il peut marcher noyé, et n'a qu'un très petit nombre d'organes, lesquels sont libres et incessamment lavés. La suppression des frais de graissage vient en déduction de l'excédent de dépense de vapeur. Le pulsomètre peut fonctionner entre les limites de $2^{m},50$ à 5 mètres de hauteur, pour l'aspiration, et de 10 à 30 mètres, pour le refoulement.

969 — *Élévateurs à ajutages.* — On peut rapprocher de ces actions de contact *statique* entre l'eau et la vapeur, le fonctionnement *dynamique* de ce fluide dans les élévateurs Friedmann, Körting, etc., à ajutages convergents-divergents, dérivés de l'injecteur Giffard [1]. Au lieu d'avoir, comme dans ce dernier appareil, à forcer l'entrer d'une chaudière malgré la pression intérieure, on a, dans le cas actuel, à surmonter le travail de la pesanteur pendant l'ascension.

Ces appareils se recommandent par leur faible volume, la facilité de leur installation, et, surtout, de leur transport à l'étage supérieur, quand on se trouve, dans le fond, gagné par les eaux. Ils pèchent, comme les précédents, sous le rapport de la consommation de vapeur [2].

[1] *Bull. min.*, 2e, I, 539. — *CRM*, 1879. 246. — *Zeitschrift BHS*, XVII, 67. — *Zeitschrift des Vereins deutscher Ingen.*, IX, 236. XVII, 757. — *Berg und Hüttenmännische Zeitung*, 1871, 347.

[2] Ainsi que nous l'avons fait remarquer ci-dessus (n° 967, note 8), cet inconvénient, qui s'atténue dans certaines branches d'industrie, pour lesquelles la température communiquée à l'eau vient en déduction de dépenses ultérieures, comme dans les établissements de bains, les teintureries, etc., ne trouve plus, dans l'épuisement des mines, la même compensation.

§ 3

POMPES A AIR COMPRIMÉ

970 — Il est naturel, en ce qui concerne l'action directe du fluide moteur sur la surface de l'eau, de chercher à remplacer la vapeur, qui est condensable, par l'air comprimé, qui ne présente pas le même inconvénient.

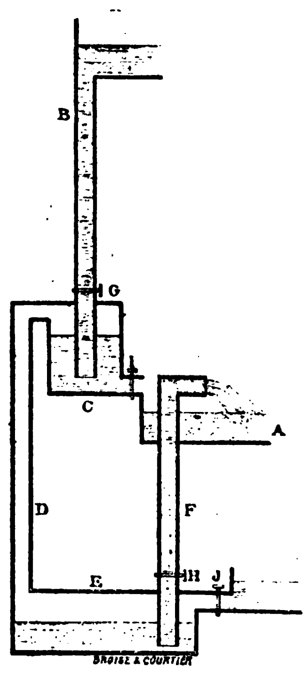


Fig. 628. Fontaine de Héron, mines de Schemnitz (diagramme schématique).

Cette application à l'épuisement des mines remonte à l'année 1755. C'est à cette époque que la machine de Héron d'Alexandrie [1] a été employée par Höll, au puits Amélie des mines de Schemnitz [2]; mais elle en a disparu depuis cette époque, et a cédé la place à une machine à colonne d'eau.

Pour concevoir son fonctionnement, imaginons qu'une galerie d'écoulement A (fig. 628) [3] permette de créer une chute motrice dans un puits de l'amont-pendage, et, en même temps, d'évacuer les eaux de l'aval-pendage que l'on y relèvera du puisard, où elles se concentrent dans l'étage inférieur. Les eaux motrices parviennent, par le tube B, à la base d'une capacité C, dont la partie supérieure communique, à travers le tuyau D,

(1) Pneumatiques de Héron d'Alexandrie, traduction de A. de Rochas (*Bulletin de la Société de statistique, des sciences naturelles et des arts industriels de l'Isère*, 3e série, t. XI, 1882).

(2) *Mémoires de l'ancienne Académie des sciences*, 1760, p. 160.— Jars, *Voyages métallurgiques*, II, 155, pl. XIII.

(3) La machine que représente ce dessin schématique, remontait environ 500 mètres cubes d'eau par jour, sur une hauteur de 33 mètres, et sous une chute motrice de 46 mètres, avec un rendement d'environ 50 0/0.

avec le sommet du récipient E, alimenté directement par le puisard. Elles refoulent ainsi l'air de l'espace C, et le mettent en tension dans le conduit D, de manière à équilibrer, dans la bâche E, le poids de la colonne liquide F, qui s'élève de ce point jusqu'à la galerie.

Lorsque le récipient C a fini par se remplir d'eau, les clapets G et H, en se refermant, viennent couper les deux colonnes liquides. En même temps, l'ouverture successive des soupapes I et J permet, d'une part, d'évacuer dans la galerie le liquide qui vient de fonctionner dans la caisse C, et, en même temps, de remplir de nouveau la bâche inférieure. Tout est prêt alors pour une nouvelle opération.

971 — L'application de l'air comprimé à l'épuisement a repris un nouvel intérêt, depuis que ce puissant moyen d'action fait partie de l'outillage d'un grand nombre de mines, et leur est fourni par des compresseurs spéciaux, établis au jour. M. Legat[1] a construit

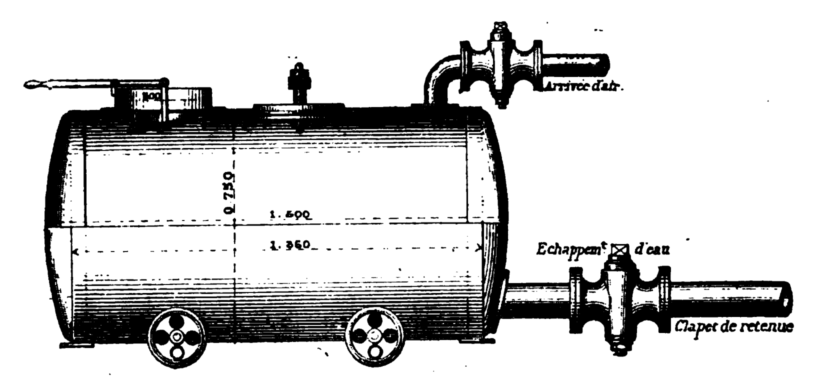


Fig. 629. Appareil Lisbet, à air comprimé.

récemment un appareil d'épuisement basé sur l'emploi de l'air comprimé. M. Jarre[2] y a fondé également le principe de sa pompe hydropneumatique, très ingénieuse, mais dont le mécanisme serait trop délicat pour les mines. L'appareil de M. Lisbet leur est, au contraire, spécialement destiné.

(1) *Bull. min.*, 2e, VIII, 303.

(2) Haton de la Goupillière (*Bull. Soc. d'enc.*, 3e, I, 377). — *Revue industrielle*, 1874, 31. — *Les Mondes*, XXX, 66.

Un récipient en tôle (fig. 629), ayant été rempli d'eau, à l'aide du clapet ménagé à cet effet, tandis qu'un ajutage laisse échapper l'air, ces deux soupapes se referment ensuite. On admet alors l'air comprimé sur la surface du liquide, qui se trouve refoulé dans la conduite montante, à travers un clapet de retenue, appliqué jusque-là sur son siège par le poids de la colonne. Quand le niveau s'abaisse au delà d'un certain point, l'admission se ferme, soit au dernier moment, soit un peu auparavant, si l'on veut utiliser la détente et amortir la force vive ascensionnelle. On laisse alors échapper l'air comprimé, et l'eau de la bâche s'introduit par sa pression; puis tout recommence.

On remarquera que l'échappement peut, au besoin, contribuer à renouveler l'air de cavités malsaines. Mais il est clair que la hauteur d'eau, qui ne peut dépasser 10 mètres par atmosphère de pression effective, restera forcément limitée dans cette application.

§ 4

ÉPUISEMENT HYDRAULIQUE

972 — *Pompe Parson à impulsion hydraulique.* — Je citerai encore, dans le même ordre d'idées, une conception plus originale sans doute que pratique, mais qui fait naturellement suite aux précédentes, en ce qu'il s'agit toujours du contact direct, et sans intermédiaires solides, entre l'eau à élever et le fluide moteur. Seulement ce fluide n'est plus ni la vapeur, ni l'air comprimé, mais bien l'eau elle-même à l'état liquide.

Imaginons qu'un ensemble de travaux soit situé au-dessus d'une galerie d'écoulement, représentée en A sur la figure schématique 630, et puisse fournir, dans un puits B, une colonne d'eau en charge. Il s'agit d'utiliser cette puissance pour élever, jusqu'à la galerie A, les eaux d'une certaine zone de l'aval-pendage, captées dans un puisard C.

Le tuyau fixe d'amenée de l'eau d'amont se recourbe au point D. en forme d'U, dans le bief inférieur. Un tuyau vertical FG, mobile

autour de son axe, remonte de ce point à la galerie. Il se termine par une petite turbine G qui, en raison de cet écoulement, détermine la rotation du tuyau sur lui-même. Le tube tournant est divisé, par trois plans méridiens, en six compartiments. A chaque instant, un seul d'entre eux se trouve au-dessus du débouché de l'eau motrice en E, mais tous s'y présentent successivement dans cette révolution. Ils reçoivent donc, l'un après l'autre, l'impulsion ascensionnelle de l'eau motrice, qui sourd en dessous. Comme, d'ailleurs, chacun d'eux se dérobe immédiatement à cette alimentation, en raison du mouvement de gyration, il s'y produirait un vide, si, pendant les 5/6es de la révolution, l'eau stagnante du bief ne se trouvait toute prête pour le remplir, en s'y lançant à la suite de la gorgée d'eau motrice, que le compartiment vient de recevoir à son passage au-dessus du distributeur. La force vive d'impulsion s'userait, à la vérité, bientôt, par l'action de la pesanteur, mais, avant ce moment, cette travée a été ramenée par la rotation au-dessus de la source motrice E, pour recevoir une nouvelle alimentation qui entretient le mouvement.

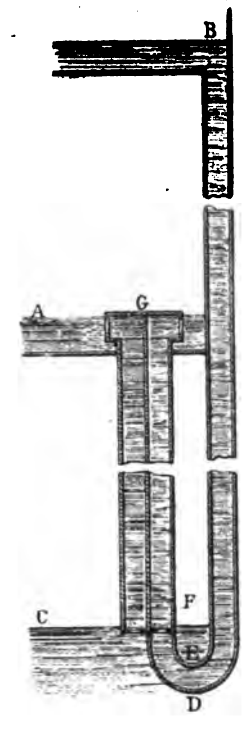


Fig. 630. Pompe Parson (diagramme schématique).

973 — *Machines à colonne d'eau.* — Après avoir complété l'exposition du principe de l'impulsion directe, en mentionnant celle de l'eau contre l'eau, je n'ai pas besoin d'ajouter que la véritable solution pratique de l'application de la force hydraulique à l'exhaure ne saurait se trouver que dans l'emploi d'intermédiaires solides, recevant d'un côté l'action de l'eau motrice, et la transmettant, d'autre part, au liquide qu'il s'agit d'élever. Il y a donc lieu de distinguer dans cet ensemble, et d'examiner successivement l'organe récepteur et l'organe élévateur.

En ce qui concerne les récepteurs, j'ajouterai aux généralités déjà présentées à ce sujet (¹), l'indication des perfectionnements qui ont été apportés récemment à l'emploi spécial de la machine à colonne d'eau pour l'épuisement des mines. Je parlerai d'abord des appareils de M. Davey de Leeds (²).

Dans la *machine simple* (fig. 631), le moteur A agit par traction

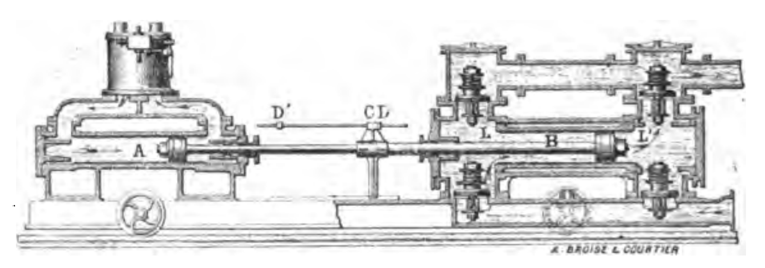


Fig. 631. Pompe à colonne d'eau de Griff-Colliery (coupe longitudinale).

directe sur la pompe B, dont le piston est monté sur la même tige, et, par le moyen de la touche C et des taquets D, D', sur le tiroir E (fig. 632), qu'il renverse de lui-même aux extrémités de la course. Celui-ci, en ouvrant l'une après l'autre les deux lumières F, F', admet la pression motrice dans les tubes G, G' alternativement, au-dessus des pistons distributeurs H, H' (fig. 633). Celui de ces derniers, H, qui la subit en ce moment, s'abaisse sous cet effort, ouvre le clapet I, et livre passage, dans le cylindre A, à l'eau motrice fournie par la conduite J. Au contraire, le piston H' est actuellement soulevé, et permet l'évacuation, à travers K, de l'eau qui a terminé son rôle dans le moteur. Un fourreau L permet d'agrandir, le cas échéant, le diamètre de la pompe, en changeant en même temps le piston (³).

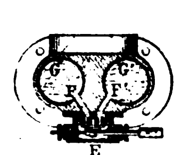


Fig. 632.
Pompe à colonne d'eau de Griff Colliery (coupe horizontale).

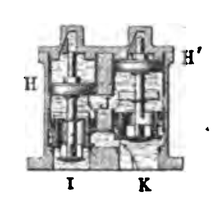


Fig. 633.
Pompe à colonne d'eau de Griff Colliery (coupe transversale).

(¹) Tome I, p. 774.
(²) *Institution of mechanical Engineers*, avril 1880, p. 245.
(³) A Griff-Colliery, près Nuneaton, deux machines de ce type épuisent, sous une

La *machine double* (fig. 634) présente trois tuyaux horizontaux, qui se redressent à angle droit, à une faible distance, pour s'élever verticalement dans le puits. L'eau motrice est amenée de l'extérieur par le tuyau A, et parvient, à travers des distributeurs B, B' semblables à ceux du cas précédent, aux cylindres mo-

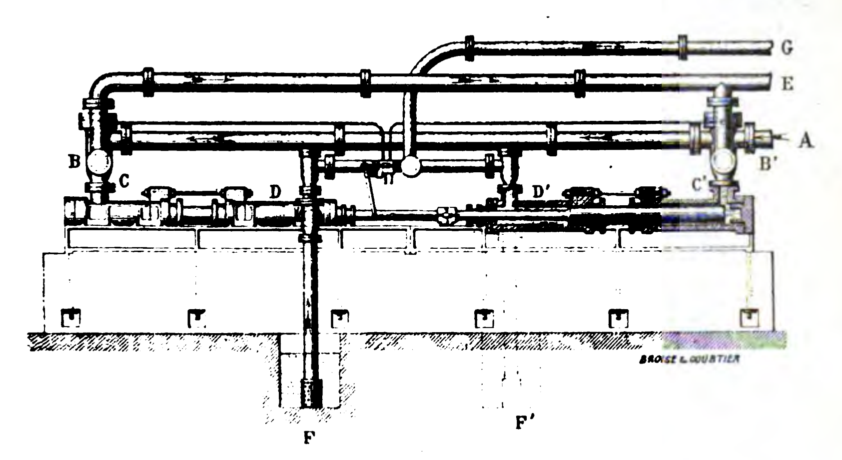


Fig. 634. Pompe à colonne d'eau des salines du Mansfeld.

teurs C, C', lesquels actionnent les pompes D, D'. L'eau qui a terminé son rôle dans le moteur, s'en retourne par le tuyau E. Quant aux pompes D, D', elles puisent, au moyen des aspirants F, F', le liquide qu'elles envoient à la surface, à travers la colonne G (¹).

974 — Je citerai encore un dispositif très ingénieux du même auteur, permettant de renvoyer l'eau extraite, à travers le tuyau même qui amène l'eau motrice.

Celle-ci descend de l'extérieur par la conduite A (fig. 635, 636),

pression effective de 150 mètres d'eau, un ouvrage en vallée, à travers une conduite de 0m,20 de diamètre, 240 mètres de longueur inclinée, et 40 mètres de hauteur verticale, en rejetant ainsi, dans le puisard collecteur, 500 mètres cubes par jour. La course est de 0m,76. Les diamètres sont égaux à 0m,16 pour le piston moteur, et 0m,22 pour celui de la pompe. La vitesse atteint 12 coups doubles par minute, et le rendement 0,65.

(¹) Cet appareil fonctionne dans les mines de sel du Mansfeld, où il élève, en vingt-quatre heures, à 300 mètres de hauteur, 430 mètres cubes de saumure, dont la densité développe une pression d'environ 40 atmosphères. Les colonnes liquides ne servent, dans le puits, que de transmission pour la force motrice, qui est fournie au jour par un accumulateur (Tome I, 781). Le rendement approche de 0,60.

traverse le distributeur B et fait périodiquement sentir sa pression, par le tube C, dans le double corps de pompe D, D'. Elle soulève ainsi les plongeurs E, E', par conséquent le poids F, et le plongeur G, qui sont solidaires entre eux. L'ascension de G aspire alors, à travers le tube H, l'eau du puisard I, qui vient remplir le corps de pompe J.

Le distributeur B venant à se renverser, intercepte l'arrivée des

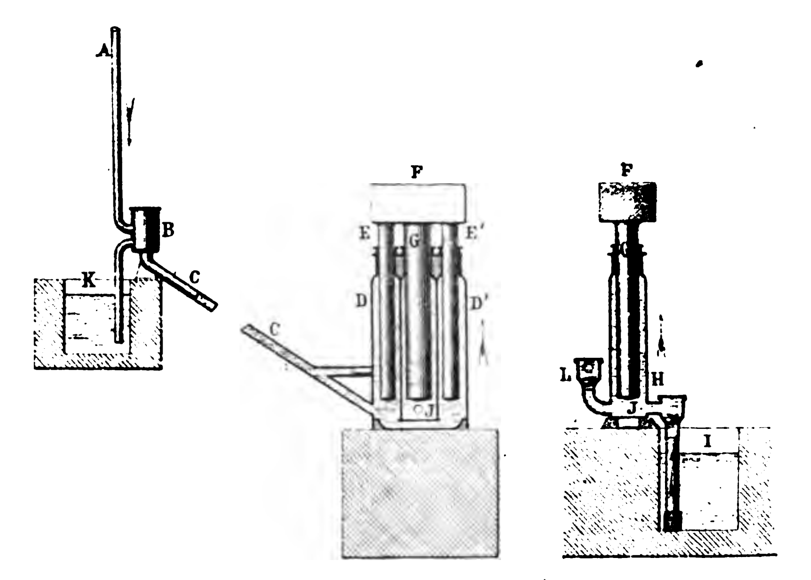


Fig. 635 et 636. Pompe à colonne d'eau de Davey.

eaux motrices par la colonne A, et permet l'évacuation, dans le puisard K, de l'eau de la conduite C, et, par suite, de celle du cylindre J, à travers le clapet L, sous la pression de l'accumulateur F.

Tout recommence alors, et, le clapet L retombant sur son siège, la nouvelle ascension de G appelle encore l'eau du puisard I.

975 — M. C. Roux est l'auteur d'une remarquable pompe à colonne d'eau, construite par M. Crozet pour le puits Saint-Pierre du Creusot [1]. L'appareil est double, et formé de deux pompes à

[1] *Revue industrielle*, 19 mars 1884, p. 114. — *CRM*, 1881, 112, Graillot.

double effet, qui sont en communication avec un même réservoir d'air. La figure 637 représente l'une de ses moitiés.

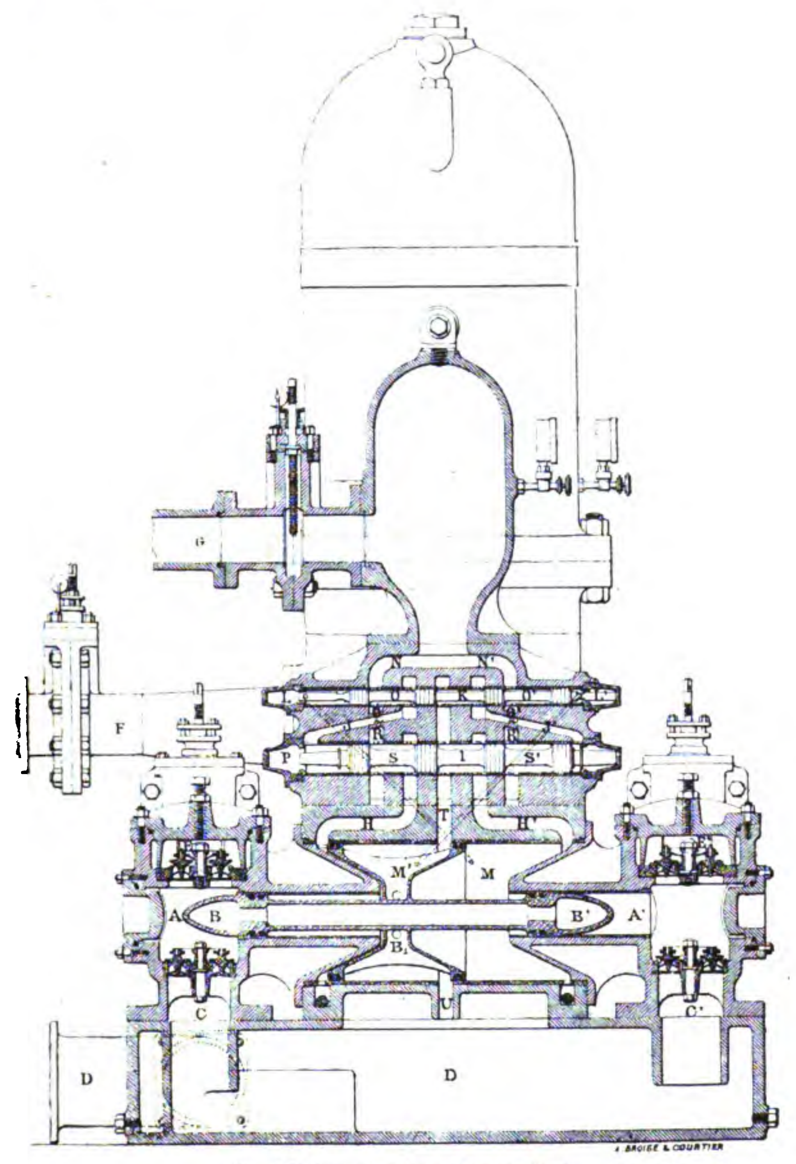


Fig. 637. Pompe à colonne d'eau de Roux.

Cette partie comprend deux corps de pompe A,A' dans lesquels

le jeu des plongeurs B,B′ appelle alternativement, par les clapets C,C′, l'eau de la bâche D, et la refoule, à travers les soupapes E,E′, dans la colonne d'élévation F. Pour actionner les deux plongeurs B,B′, on a monté sur leur tige commune un piston central B_1, qui reçoit successivement, sur chacune de ses faces, l'action des eaux motrices amenées par la conduite G. Elles lui sont fournies par les lumières H,H′, influencées par le *grand distributeur* I. Celui-ci est actionné de son côté par les eaux motrices, à l'aide des lumières J,J′, influencées par le *petit distributeur* K. Ce dernier organe est enfin gouverné par le jeu des conduits L,L′ qui aboutissent en M,M′ dans les eaux motrices ou résistantes, suivant la situation occupée par le piston moteur B_1.

En ce moment, ce dernier vient d'achever sa course de droite à gauche. A l'instant où il a dépassé l'embouchure M, l'eau motrice, agissant à travers le canal ML, a renvoyé à fond de course à droite le petit distributeur K. Celui-ci laissant libre le passage GNOJP, la pression d'amont s'est fait sentir à gauche du grand distributeur I, et l'a également repoussé vers la droite. Cette manœuvre a dégagé la communication GNOQRSH, et, par conséquent, l'effort moteur sollicite la face gauche du piston B_1, pour lui faire opérer sa course rétrograde. Sur sa face droite, au contraire, les passages sont libres en MH′TUD, pour permettre l'évacuation de la cylindrée précédente dans la bâche.

Tel est ce remarquable dispositif, qui n'emploie, pour la distribution, que des renvois de pression à travers des orifices démasqués en temps opportun, sans aucune connexion solide[1].

976 — *Élévateurs.* — Si, des récepteurs, nous passons aux élévateurs, il convient de dire que celui que l'on adjoindra le plus fréquemment à un récepteur hydraulique sera la pompe, et nous venons d'en avoir un exemple dans les machines Davey (nos 972, 973, 974). Cependant il existe dans l'industrie un certain nombre d'autres élévateurs [2]. Je me bornerai à citer seulement

[1] A la pompe Saint-Pierre, les diamètres sont de 0m,352 pour les pistons moteurs B_1, et 0m,113 pour les plongeurs B, B′. La course est égale à 0m,250.

[2] Vis d'Archimède, vis hollandaise, bélier hydraulique, écope, zigzag, etc.

ceux d'entre eux qui peuvent servir, moins, à la vérité, dans l'intérieur des mines, qu'à leurs abords, sur les découverts et dans les ateliers de préparation mécanique.

Le *chapelet hydraulique* (¹) a été employé pour un puits de 70 mètres à Tavistock (Devonshire). Il est formé d'un tuyau de 0^m,10 de diamètre environ (fig. 638), traversé par l'une des travées d'une chaîne sans fin, qui porte, de mètre en mètre, des pistons de cuir ou de gutta. Pour faciliter leur entrée, on évase, en forme de pavillon, l'orifice inférieur de la colonne. L'une des poulies de renvoi est munie d'un rochet, afin d'éviter le recul.

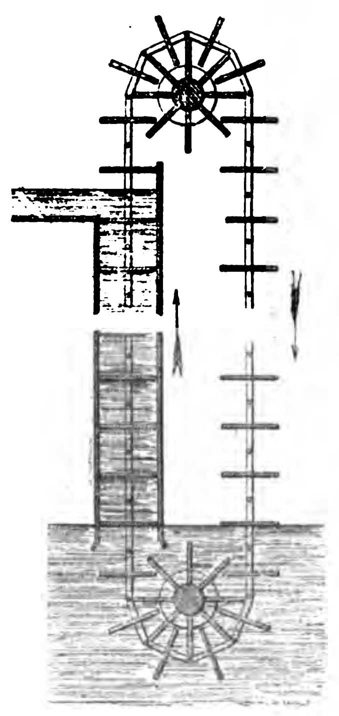


Fig. 638. Chapelet.

L'engagement de l'eau s'opère par soulèvement, s'il est possible d'immerger la base de l'appareil sur une hauteur égale à l'intervalle des pistons. On peut aussi procéder par aspiration, le piston forçant l'eau à monter pour le suivre, jusqu'à ce que le suivant vienne couper au pied cette masse liquide, pour la soustraire à l'action barométrique, et la soutenir jusqu'au sommet d'une colonne, qui pourra, d'après cela, excéder 10 mètres.

A cause du jeu et de la perte qu'il détermine, laquelle deviendrait abusive avec trop de lenteur, il convient de marcher à raison de deux mètres par seconde environ. Le rendement a paru assez satisfaisant.

La *noria* a également joué un rôle dans l'épuisement souter-

(¹) Ponson, *Supplément*, II, 447. — Bélidor, *Architecture hydraulique*, t. I, liv. II, chap. IV, pl. 1, 2, 3, 5. — Rapport de M. De Vaux sur l'exposition universelle de Londres de 1862, p. 155. — *Rev. univ. d. m. et u.*, 1ʳᵉ, XII, 449.

rain [1], mais cette application doit être considérée comme absolument surannée.

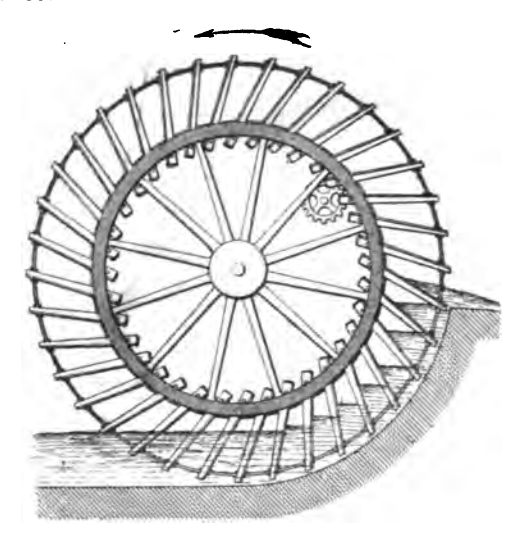


Fig. 639. Roue élévatoire à palettes.

Les roues élévatoires sont des engins plus utiles, mais pour

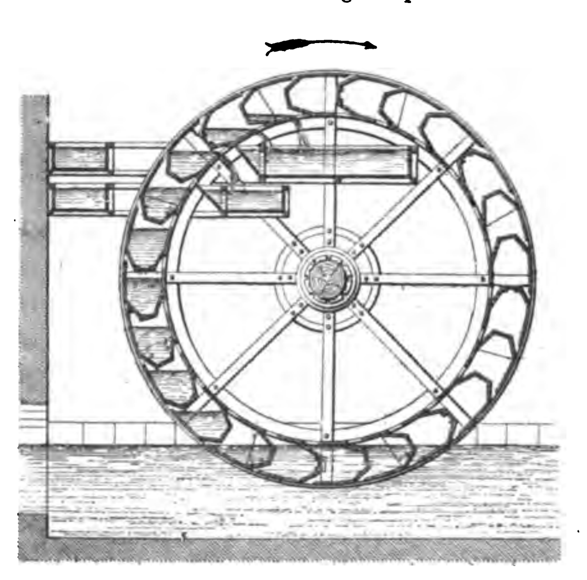


Fig. 640. Roue élévatoire à godets.

[1] Warington Smith, *la Houille*, traduit par Maurice, p. 237.

l'extérieur seulement. On emploie la ***roue à palettes*** (fig. 639), la ***roue à godets*** (fig. 640), ou la ***roue à tympans*** (fig. 641). La pre-

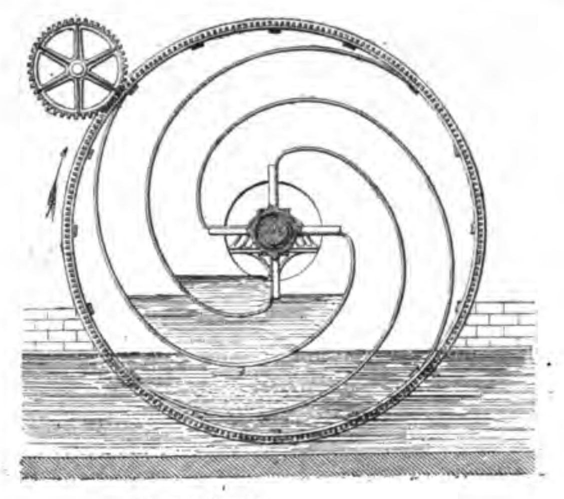


Fig. 641. Roue élévatoire à tympans.

mière, qui présente comme le chapelet l'inconvénient du jeu, doit, pour ce motif, être menée plus vite que les deux autres.

§ 5

ÉPUISEMENT PAR LE CABLE

977 — Lorsque l'entretien d'eau d'une mine n'a qu'une importance limitée, on évite l'établissement des pompes, en se servant de l'appareil d'extraction, et de ***cages à eau*** que l'on substitue aux cages ordinaires[1]. Ces engins (fig. 642, 643) sont des parallélépipèdes construits en bois ou en tôle, munis de roulettes, pour faciliter leur déplacement sur les rails, et de clapets, pour l'écoulement de l'eau. La soupape de fond s'ouvre d'elle-même, soulevée par la pression du liquide, au moment où le mécanicien descend la cage dans le puisard. Elle se rouvre automatiquement, à la recette supé-

[1] Dorlhac (*Bull. min.*, 1re, XII, 231). — Z. Blanchet (*Bull. min.*, 1re, VII, 679).

rieure, par la rencontre de son levier avec un taquet extérieur. L'eau s'élance alors en parabole, et franchit ainsi la petite distance qui sépare la cage, du caniveau préparé aux abords du puits pour recevoir ce jet. Si la cage vient à être montée trop haut, un second taquet fixe remet le clapet en place. On se sert aussi de manches en cuir, pour conduire le liquide jusqu'au caniveau, en déclanchant à la

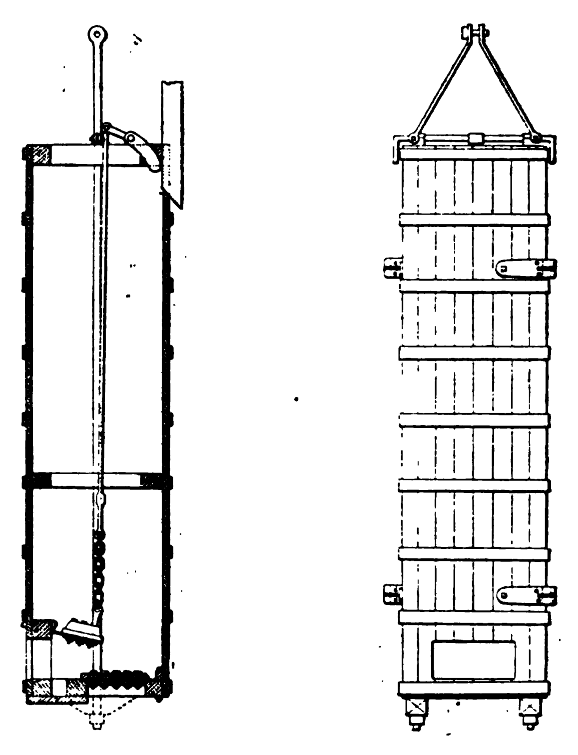


Fig. 642 et 643. Cage à eau (coupe et élévation).

main le clapet. Tantôt la cage à eau se substitue complètement à la cage ordinaire; tantôt, sans détacher cette dernière du câble, on se contente d'enlever, s'il y a lieu, les planchers qui la subdivisent en étages, et d'y insérer une caisse à eau, établie sur des dimensions un peu moindres. Il est bon de laisser flotter, sur la surface liquide, un plancher léger, suspendu par quatre chaînettes à la partie supérieure du châssis. On communique ainsi à

l'eau plus de stabilité, pour empêcher les clapotements et les projections dans le puits, en raison des mouvements du câble.

L'épuisement par les cages présente l'avantage d'éviter la mise de fonds considérable, qui serait nécessitée par l'établissement de pompes de mine. L'usure des câbles et de l'appareil d'extraction, due à ce service supplémentaire, peut être considérée comme formant à peu près l'équivalent de l'entretien des pompes. Quant à la dépense de force motrice, qui est proportionnelle à la fois à la quantité d'eau et à la hauteur, elle diffèrera peu, de l'un à l'autre des deux modes. Les pompes sont cependant plus économiques. Bien que l'enlèvement de l'eau exige moins de main-d'œuvre que celui du minerai, on peut évaluer approximativement le prix de revient à cinq centimes par tonne élevée à cent mètres, tandis qu'il s'abaisse à trois centimes avec les pompes.

HUITIÈME PARTIE

AÉRAGE

CHAPITRE XLI

ATMOSPHÈRE DES MINES

---

§ 1

TEMPÉRATURE

978 — *Température souterraine.* — L'aérage des travaux souterrains constitue, pour l'ingénieur, un problème de la plus haute importance. C'est une des parties de l'art des mines qui ont été le plus améliorées dans ces derniers temps. Elle présente, avant tout, un intérêt d'humanité, en ce qui concerne la santé et la longévité de l'ouvrier, ainsi que sa sécurité dans les gîtes grisouteux.

En dehors de ce côté de la question, devant lequel tout s'abaisse, on ne doit pas oublier non plus, que le point de vue économique retrouvera encore son compte dans les sacrifices destinés à réaliser une bonne ventilation, attendu que le rendement du mineur ([1]) se trouve étroitement lié aux conditions de l'atmosphère dans le sein de laquelle il travaille ([2]). Il est facile d'augmenter ce coeffi-

([1]) Tome I, p. 570.

([2]) Hecquey, Observations comparatives, etc. (*Annales des travaux publics de Belgique*, XV, 49).

cient de 10, et presque de 20 pour 100, quand on passe, sous ce rapport, d'un extrême à l'autre[1].

Le problème de l'aérage présente deux faces distinctes, et concerne, à la fois, la température et la composition chimique de l'atmosphère souterraine.

979 — La réglementation de la température, très essentielle au point de vue de la santé, l'est également sous le rapport du rendement. Comme limite extrême, on a pu, dans les mines du Comstock, travailler encore, grâce à l'emploi de moyens hygiéniques exceptionnels, à 47 degrés centigrades; mais il a fallu abandonner à 54 degrés [2]. Les conditions deviennent bien plus mauvaises encore, si, à l'influence de la chaleur, se joint celle d'une humidité caractérisée. Or tel est le résultat immédiat de l'élévation de température, lorsque l'eau se trouve en présence. Pendant le percement du Saint-Gothard, on observait jusqu'à 6 et 9 fois plus de vapeur d'eau dans l'atmosphère souterraine qu'à l'extérieur. Très pénible à partir de 25 degrés, cet état de choses devient intolérable, même pour une courte durée, avec une température de 35 degrés[3]. M. Dubois-Reymond estime que la température de 40 degrés serait mortelle dans ces conditions; bien que l'homme soit en état de supporter 50 degrés, dans un air aussi sec que possible. Pendant le percement du tunnel du Mont-Cenis, la température n'a pas dépassé 29,5 degrés centigrades. Au Saint-Gothard, on a observé, dans la roche, jusqu'à 31 degrés; dans l'atmosphère, après les coups de mine, 35 degrés; et, comme température extrême de travail 32,5 degrés. Ces conditions ont été considérées comme

(1) Dans le percement du tunnel du Saint-Gothard, les salaires ont du être majorés d'un quart, tandis que, inversement, la durée des journées de travail tombait à 5 heures. Le prix de la main-d'œuvre s'est trouvé par là presque triplé, en même temps que les frais généraux pesaient plus lourdement sur l'opération, en raison du ralentissement devenu inévitable. Il était en effet impossible, dans cet espace limité, de compenser, par une augmentation du nombre des hommes, la débilitation de l'activité de chacun d'eux en particulier.

(2) Stockalper, *Les grands tunnels alpins et la chaleur souterraine*, Lausanne, 1883, p. 15. — F. Brabant, Les variations atmosphériques des mines (*Annales des travaux publics de Belgique*, XLII).

(3) Henri Fayol, *Bull. min.*, 2e, VIII, 679.

très graves, constituant la limite du possible pour les hommes, et la dépassant pour les chevaux.

On observe chez les ouvriers qui travaillent à de hautes températures, l'oppression, la congestion, la respiration brève et rapide pour l'homme [1], ronflante chez les animaux, un grand malaise, quelques évanouissements, l'apathie, les mouvements pesants et sans élasticité, le visage gonflé et empourpré. La sécrétion des urines est moins abondante; elles deviennent foncées et troubles. L'appétit diminue, la constipation se manifeste. Comme conséquence, on arrive à l'amaigrissement, à la pâleur [2], aux rhumatismes, aux catharres obstinés [3]. Une sueur abondante colle le linge au corps, et les hommes sont obligés de travailler sans aucun vêtement.

Indépendamment de l'action exercée sur l'homme et sur les chevaux, l'élévation de la température a pour effet de dessécher les poussières de houille, dont nous reconnaîtrons plus loin le danger (n° 1190). En même temps, elle vient en aide à l'échauffement du charbon, précurseur des incendies (n° 1207).

980 — Les causes qui tendent à élever le thermomètre, dans l'intérieur des mines, sont le tirage à la poudre, les incendies souterrains, la combustion des lampes, la chaleur vitale des hommes et des chevaux, l'oxydation des pyrites et la dissociation de carbures renfermés dans le combustible, ou dans des schistes fermentescibles, ainsi qu'une sorte de dissolution ou d'absorption de l'oxygène par le massif de houille [4], la présence de sources thermales ou la

(1) Pour absorber la quantité d'oxygène nécessaire, il devient, en effet, nécessaire d'aspirer plus souvent l'air raréfié par la dilatation, et surchargé de vapeur d'eau ainsi que de gaz méphitiques. Les mouvements du cœur s'accélèrent en concordance, et l'on arrive à des chiffres de 140 et 150 pulsations. Dans cet état violent, la température du corps atteint 41 degrés.

(2) Dans cette température, les ankylostomes, ou vers intestinaux, se propagent avec la même exubérance que sous les tropiques, et conduisent à l'anémie.

(3) Stappf, *Études sur la répartition des températures au Saint-Gothard*, Berne, 1877. — Notice sur la température au Saint-Gothard (*Rev. univ. d. m. et u.*, 2e, XII, 484). — Revaux, Note sur la température du percement des grands tunnels (*Annales*, 8e, IV, 605).

(4) Observation de M. Regnard à Commentry (Haton de la Goupillière, *Rapport* au nom de la Commission d'études des moyens propres à prévenir les explosions du grisou, *Annales*, 7e, XVIII, 206).

venue de gaz chauds, à proximité des massifs volcaniques, la chaleur centrale du globe.

Cette dernière influence agit à raison d'un degré par 30 mètres de profondeur environ, bien qu'elle soit variable d'un point à l'autre. La moyenne de sept observations du docteur Everett, effectuées sur des puits de mine, lui a indiqué 3 degrés par 100 mètres[1], avec une variabilité qui s'étend de 2,3 à 4,0 degrés. L'évaluation de la température en fonction de l'épaisseur des terrains présente, pour le tracé des grands tunnels, le plus haut intérêt, et devra de plus en plus entrer en ligne de compte, pour faire écarter *a priori* les profils qui exposeraient, pendant le percement, à des élévations inadmissibles de température [2]. M. Stappf propose, à cet égard, pour exprimer l'excès sur la température de la surface, la formule :

$$0{,}02079\,H,$$

en appelant H la hauteur verticale de recouvrement, ou :

$$0{,}02157\,D,$$

si D marque la plus courte distance à la surface du sol [3].

981 — Comme moyens d'atténuation de ces influences, dans les

[1] *Engineering*, 22 septembre 1876, p. 256. — *Bulletin du Ministère des Travaux Publics*, mars 1882, 253.

[2] Trois projets ont été étudiés successivement pour le tunnel du Simplon : le premier rectiligne, les deux autres en ligne brisée pour se glisser entre les températures trop élevées :

ANNÉES.	LONGUEUR.	ÉPAISSEUR maxima.	TEMPÉRATURE probable.
—	—	—	—
	mèt.	mèt.	degrés.
1878	18 507	2 780	47
1882	19 795	2 292	37
1882	20 000	1 795	35

Pour le tunnel du Mont-Blanc, on a mis en avant, sans préparation suffisante, un tracé rectiligne de 18 kilomètres, qui admettrait une épaisseur maxima de 3 kilomètres, et atteindrait probablement une température de 50 degrés, incompatible avec les moyens actuels d'exécution.

[3] Ces formules simples sont indiquées comme susceptibles d'une approximation

conditions spéciales du percement des tunnels, on peut indiquer la substitution de la lumière électrique aux lampes ordinaires, de la perforation mécanique au travail à la main, du bosseyage mécanique au tirage à la poudre, des locomotives mues par l'air comprimé à la traction des chevaux.

Dans les mines, l'injection incessante de grandes masses d'air reste pratiquement le seul moyen efficace de combattre l'échauffement. Sa détente, quand il est amené à haute pression, fournit un moyen de rafraîchissement très efficace. Il convient également d'ajouter que l'introduction de réfrigérants artificiels peut rendre quelques services, dans certains cas particuliers. M. Romanowski avait conseillé les dépôts de glace dans les mines, pour les rafraîchir; mais, présentée sous cette forme générale, cette proposition était évidemment sans valeur. A Virginia-City, cependant, où les mineurs souffrent beaucoup de la chaleur, on leur descend de la glace pour leur permettre de trouver du soulagement, en usant avec prudence de ce moyen de réfrigération. L'invention des machines frigorifiques, capables de fabriquer la glace sous tous les climats et en quantités considérables, donne à cet ordre de considérations une nouvelle importance. On peut même concevoir, qu'en établissant du jour au fond, au moyen d'une canalisation spéciale, convenablement feutrée, une circulation sous pression de solutions salines, dont la teneur abaisse suffisamment le point de congélation, ces liquides, en passant à travers des espèces de condenseurs de surface très simples, puissent permettre d'abaisser, dans la mesure du nécessaire, les élévations excessives de température.

982 — *Fonçage des puits à l'aide de la congélation.* — Ce prin-

de $\pm$ 4,95. On aurait seulement un écart de $\pm$ 2,50 à l'aide des expressions suivantes :

$$6{,}45 + 0{,}0106\,H + \sqrt{41{,}6593 - 0{,}1517\,H + 0{,}00011195\,H^2},$$

en fonction de la hauteur verticale, et :

$$6{,}01 + 0{,}0102\,D + \sqrt{36{,}1682 - 0{,}1278\,D + 0{,}000103\,D^2},$$

à l'aide de la plus courte distance normale.

cipe vient de recevoir une application extrêmement remarquable, dans le procédé de fonçage des puits à travers les niveaux aquifères, et au milieu des terrains coulants, fondé sur la congélation de ces strates. Cette idée, originairement formulée par M. G. Lambert dans son Cours d'exploitation des mines à Louvain [1], a été réalisée de la manière la plus brillante par M. Poetsch, au puits Archibald de la concession de Douglas, dans la région lignitifère de Schneidlingen (Saxe). Il s'agissait, après un fonçage opéré avec une section rectangulaire de $3^m,45$ et $4^m,73$ de côtés, sur une hauteur de 34 mètres, sans présenter aucune difficulté spéciale, de franchir une traversée de sables mouvants très aquifères, d'une épaisseur de $5^m,50$ au delà de laquelle on atteignait le solide. On y est arrivé en congelant la masse du terrain, sur une épaisseur suffisante pour maintenir la pression hydrostatique environnante, pendant le temps nécessaire pour effectuer le fonçage et exécuter le muraillement.

M. Poetsch a, dans ce but, enfoncé en ceinture, autour du puits, une série de vingt-trois tubes creux en fer, de $0^m,20$ de diamètre, munis, à la partie inférieure, d'un sabot tranchant (fig. 644). Une fois arrivés au ferme, on les a obturés à la base avec une fermeture de plomb, de ciment et de goudron. Puis on a descendu dans leur intérieur d'autres tubes plus petits percés de part en part. Des chapeaux à tubulure et robinet les coiffent tous, et permettent d'y distribuer le liquide réfrigérant, qui arrive du jour par un tuyau unique. Ainsi ramifié, le courant pénètre dans chaque tube central, sous la pression d'une pompe foulante, et remonte tout autour, jusqu'au chapeau. Tous ces courants de retour sont eux-mêmes réunis, et renvoyés à la surface dans un autre tuyau unique.

[1] André Dumont, Percement des terrains mouvants et aquifères, procédé Poetsch, *Mémoires de l'Union des ingénieurs de Louvain*, 21 octobre 1883. — Haton de la Goupillière, *Bull. Soc. d'enc.*, 22 février 1884. — *Portefeuille économique des machines*, mars 1884, p. 54. — *Moniteur industriel*, 20 mars 1884. — *Génie civil*, 22 mars 1884. — *Écho des Mines et de la Métallurgie*, 30 mars 1884. — *Bulletin de l'Association scientifique de France*, 23 et 30 mars 1884. — *CRM*, 1884, 76, Buisson; 78, Voisin; 99. — Abteufen von Schächten, von F. H. Poetsch, in-18, Dresden, septembre 1883. — Frohberg et Hille, *Zeitschrift des Vereins Berggeist zu Siegen*, 3 novembre, p. 29. — G. Hohler (*Berg und Hüttenmännische Zeitung*. — *The Colliery Guardian*, 16 novembre 1883. — *The Engineer*, 30 novembre 1883. — *Vereins Mittheilungen*, 1883, 95, 97, 107. — Methode der Schachtabteufens in schwimmenden Gebirge (*Œsterreichische Zeitschrift*, 1883, 396).

Le liquide froid soutire le calorique du terrain, en s'en chargeant pour lui-même, et retourne s'en dépouiller sous l'action d'une machine frigorifique à ammoniaque.

Le fluide, véhicule de la chaleur, était une solution de chlorure de calcium à 40 degrés Baumé, qui ne se congèlerait qu'aux environs de 40 degrés centigrades au-dessous de zéro. La machine frigorifique l'envoie dans la profondeur, à une température de — 25 degrés. Il en ressort à — 19 degrés, pour être de nouveau refroidi et refoulé d'une manière continue.

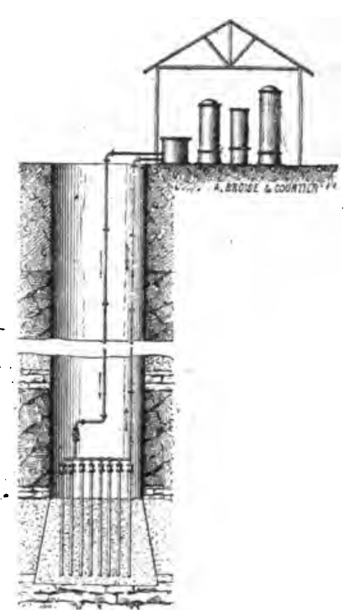


Fig. 644. Fonçage par congélation. Procédé Poetsch.

On a ainsi obtenu, au bout de trente jours de congélation, une masse qui excédait de 1 mètre environ les dimensions de la section du puits, d'après l'indication fournie par des sondages. On jugea son épaisseur suffisante pour la traverser par le fonçage. La température était surveillée à l'aide de l'enfoncement, dans la paroi, de tubes indicateurs pleins de la solution de chlorure de calcium, au sein de laquelle étaient immergés des thermomètres. La température du terrain, qui était originairement de + 11 degrés, s'est abaissée ainsi à — 19 degrés, et probablement davantage encore vers le bas, car ces mesures étaient prises à la partie supérieure. La dureté de cette roche artificielle, d'eau sableuse congelée, a été assimilée à celle de certains calcaires. Elle se laissait attaquer difficilement au pic, et présentait une cassure conchoïde. Pendant les opérations, les courants réfrigérants continuaient leur action, pour maintenir la barrière protectrice autour des ouvriers. La température du chantier ne s'abaissait pas, cependant, durant le travail, au-dessous de — 6 degrés.

Depuis cette première opération, un second fonçage a été effectué

à la houillère Max Michalkowitz (Haute-Silésie), et un autre, de 30 mètres de hauteur, exécuté pour M. Siemens, au puits Centrum de la mine de Wusterhausen, près de Berlin.

Il est impossible de méconnaître ce que présente d'original et de hardi cette tentative, qui a été couronnée d'un plein succès. Sans doute, on entrevoit difficilement son extension à des hauteurs considérables, et sous des pressions importantes. Cependant, même limitée à ces termes, elle mérite au plus haut point de fixer l'attention. L'inventeur attend de ce procédé une grande certitude dans les résultats, en ramenant les conditions les plus compliquées des terrains aquifères, au cas simple d'une masse solide de dureté moyenne, et en évitant les soutènements immédiats, ainsi que les dépenses et les dangers qu'entraîne la lutte contre les eaux, par la voie de l'épuisement (1).

§ 2

COMPOSITION DE L'ATMOSPHÈRE SOUTERRAINE

983 — *Oxygène.* — La composition chimique de l'air peut être altérée de deux manières différentes : par soustraction d'oxygène, ou par addition d'éléments nuisibles.

L'oxygène est indispensable à la vie. La désoxydation de l'air est appelée par les mineurs *la force*. A faible proportion, elle produit à la longue l'anémie. Ce fléau a longtemps étiolé la population souterraine, en abrégeant, pour elle, la durée de la vie moyenne. Au delà d'un certain degré, la privation d'oxygène produit une asphyxie, dont les effets s'effacent, d'ailleurs, par la seule influence de l'air pur. Dans les mines de Poullaouen, M. Félix Leblanc est ainsi tombé foudroyé, au moment où il engageait la tête dans une cavité renfermant de l'air désoxydé.

L'oxygène est également nécessaire pour la combustion des

(1) Sous ce rapport, le procédé Poetsch se range, d'une manière rationnelle, à la suite des méthodes de sondage à niveau bas, qui ont fait l'objet du chapitre XIV. Mais la date de son apparition, postérieure à la publication du premier volume de ce Cours, nous le fait présenter à cette place.

lampes. Elles s'affaiblissent et refusent de brûler, avant que le milieu devienne définitivement impropre à la respiration. L'on peut alors se retirer à tâtons, quand l'air *devient lourd* et que les lampes s'éteignent.

Bien des causes tendent à diminuer la proportion de l'oxygène, telles que la respiration des hommes et des chevaux, la combustion des lampes, la suroxydation de carbonates ou de sulfures, la fermentation de la houille, des bois de mine, des fumiers. Un envoi d'air, en proportion au moins équivalente, est donc encore indispensable pour réparer ces pertes.

984 — D'un autre côté, l'atmosphère peut également se trouver viciée par l'adjonction de principes étrangers. Citons d'abord, à cet égard, les produits mêmes des réactions dont il vient d'être question, accomplies aux dépens de l'oxygène de l'air; en second lieu, les fumées de la poudre et surtout celles de la dynamite, plus nuisibles encore, en raison de l'acide hypoazotique qu'elles renferment dans les cas de combustion incomplète; enfin, certains dégagements naturels du gîte exploité, que nous allons énumérer successivement.

A ce nouveau point de vue, la même conclusion se reproduit pour la troisième fois, et conduit à envoyer dans la mine des quantités d'air considérables, pour noyer ces produits, en les diluant suffisamment. Ce n'est pas, en effet, le poids absolu d'impuretés développées dans les travaux pendant la durée d'un poste, qui crée le danger. C'est uniquement la *teneur*, c'est-à-dire une fraction dont le numérateur est formé par ce poids, sur lequel on n'a aucune action (n° 1124), et qui a pour dénominateur la quantité totale d'air parcourant la mine dans le même temps. Il suffit donc de forcer suffisamment ce dernier chiffre, pour abaisser à volonté la proportion relative des principes étrangers, au-dessous du degré où ils cessent d'être nuisibles, lequel est caractéristique de chacun d'eux.

Parmi les dégagements gazeux qui s'opèrent spontanément hors du massif, le plus redoutable est, sans contredit, le grisou. Mais, en raison de son importance même, nous l'envisagerons en dernier lieu, en donnant alors à son étude tous les développements nécessaires.

985 — *Acide carbonique.* — Ce gaz, parfois appelé par les mineurs *la touffe*, est à la fois asphyxiant pour l'homme, et impropre à la combustion des lampes. Sa densité considérable 1,5 lui communique une tendance à se maintenir à la sole des chantiers, et le rend par là encore plus redoutable. En effet, l'homme qui se trouve pris d'un étourdissement, par suite de la présence de ce gaz, tombant à terre dans une couche encore plus contaminée, est irrévocablement perdu. On constate, avec une grande netteté, la séparation des deux couches gazeuses, en abaissant doucement la lampe, qui faiblit et s'éteint en passant de l'une dans l'autre. Cette expérience si simple fournit un moyen très commode pour sonder la présence de l'acide carbonique, dans les étages inférieurs de certaines mines sujettes à de semblables invasions. On descend, d'un niveau supérieur, une lampe suspendue à l'extrémité d'un décamètre-roulette, et on lit le chiffre du déroulement, au moment où la flamme s'éteint. La séparation est parfois tellement précise, que le mineur peut éteindre son feu en puisant dans cette zone avec son chapeau, et versant le contenu sur sa lampe, comme on le ferait pour de l'eau.

L'acide carbonique provient souvent d'anciennes fissures volcaniques, pour les filons situés sur les confins de semblables massifs, comme à la mine de Pranal (Puy-de-Dôme), qui est située non loin de l'ancien volcan de Chalusset. Il arrive même quelquefois avec une température élevée. Il peut également se trouver emprisonné dans le massif, sous une forte pression. C'est ce que les mineurs de Brassac (Puy-de-Dôme) appellent *la pousse*, qui est souvent suffisante pour pousser le charbon en avant, en l'effoliant et déterminant certaines explosions [1].

Dans d'autres cas, l'acide carbonique a une origine plus prochaine, due à l'attaque de calcaires encaissants, par l'acide sulfurique qui résulte de l'oxydation des pyrites. On avait, en particulier, proposé cette explication pour la mine de Rochebelle (Alais) ; mais l'étude approfondie des localités la rend difficile à admettre. Quoi

[1] La pousse de Brassac a été décrite par Lemonnier dans les Mémoires de l'ancienne Académie des sciences, telle qu'on l'observe encore aujourd'hui (*Anciens minéralogistes du royaume de France*, par Gobet, II, 518).

qu'il en soit, on observe, dans cette mine, des bouillards d'acide carbonique, qui se font jour à travers l'eau des étages inférieurs. Il peut aussi s'accumuler progressivement dans des poches fermées, et y acquérir une tension suffisante pour provoquer des explosions redoutables. Celle de 1879 a coûté la vie à deux hommes. On a estimé à 2400 mètres cubes, le volume de gaz qui s'est trouvé mis en liberté en moins d'un quart d'heure ([1]). On a observé également des soufflards d'acide carbonique à Commentry, dans la Haute-Loire ([2]), dans la houillère saxonne de Zaukeroda, etc.

Les incendies souterrains forment une troisième source de ce gaz délétère. Le mauvais état des barrages qu'on leur oppose peut, sous ce rapport, provoquer des invasions mortelles.

986 — Indépendamment du préservatif général que l'on trouve dans une ventilation, particulièrement active pour un gaz aussi lourd, on peut pénétrer dans des cavités infestées d'acide carbonique en y projetant de la chaux en poudre, de l'eau de chaux, des lessives alcalines ou ammoniacales (n° 1150). On ne doit le tenter du reste qu'en cas de nécessité absolue, et avec les plus grandes précautions, car l'asphyxie est parfois foudroyante, et l'on voit, au milieu du trouble de certains sauvetages, les mineurs tomber les uns sur les autres, en voulant se porter mutuellement secours.

987 — *Oxyde de carbone.* — L'oxyde de carbone ne paraît pas exister spontanément dans l'atmosphère des mines ; mais les incendies souterrains, les coups de grisou, et surtout les coups de poussière (n° 1190), dans lesquels le carbone se trouve en excès, peuvent en fournir certaines quantités. On a vu, en rentrant dans les travaux après un coup de feu, des lampes restées allumées au milieu d'hommes étendus sans vie, et ne présentant aucune trace de désordres mécaniques. On a dès lors, sous toutes réserves, rapporté cet effet à ce gaz, extrêmement toxique bien avant que sa

([1]) De Castelnau, *Annales*, 7e, XVIII, 174. — *CRM*, 1879, 242, 265, 288 ; 1880, 46, 130. — *Bull. Soc. d'enc.*, 3e, VII, 142. — Delesse, *Comptes rendus de l'Académie des sciences*, 17 novembre 1879.

([2]) *CRM*, 1880, 131.

proportion devienne suffisante pour supprimer la combustion, à l'inverse de ce qui a lieu pour l'acide carbonique (n° 985). L'oxyde de carbone constitue, en effet, un poison très actif. Il tue un oiseau à la teneur de 1 pour 100. Bien au-dessous de cette dose, il occasionne des maux de tête violents et très tenaces, même après que l'on s'est soustrait à sa présence. Sa densité 0,97 diffère à peine de celle de l'air.

988 — *Acide sulfhydrique.* — L'hydrogène sulfuré, que son odeur rend facilement reconnaissable, même à l'état de traces, se rencontre spontanément dans certaines mines [1]. Sa présence n'a, du reste, rien qui doive surprendre. Il constitue, en effet, un produit géologique qui a directement imprégné des houilles et des calcaires appelés, pour cette raison, *fétides*. Certaines sources thermales le charrient également. Il peut aussi résulter, sur place, de l'altération des pyrites et de la décomposition des fumiers.

On a signalé également la présence du sulfhydrate d'ammoniaque, et de sulfocarbures.

L'hydrogène sulfuré est très vénéneux. Une proportion de $\frac{1}{250}$ suffit pour donner la mort à un cheval. Il est assez lourd, et a pour densité 1,2; mais il est beaucoup plus diffusible que l'acide carbonique.

989 — *Vapeurs mercurielles.* — Le séjour des mines de mercure est particulièrement antihygiénique, et la population minière y subit, à la longue, les funestes effets de ce genre d'intoxication. La vapeur mercurielle est excessivement lourde, et ne peut-être éliminée que par une énergique ventilation. Les poussières de cinabre, produites par le choc des outils, constituent également, pour le mercure, un véhicule redoutable. Il est bon d'alterner, pour les hommes, les travaux souterrains avec ceux de l'agriculture, afin de contrebalancer, dans l'organisme, ces fatales influences.

[1] Par exemple dans la grande couche du sud du Staffordshire (*Transact.*, *NEI*, X, 193), aux Vanneaux, à Wasmes, à Turhupu (Ponson, *Traité d'exploitation des mines de houille*, II, 8), à Sumène, dans les lignites de Forcalquier (*CRM*, 1879, 6), etc.

990 — *Poussières.* — Indépendamment des produits gazeux, l'atmosphère des mines recèle souvent des corpuscules ténus appelés *poussières*, *poussiers*, ou *pulvérins*. En toute circonstance, ils sont fâcheux pour la respiration. L'emphysème charbonneuse peut être le résultat de l'encombrement des capillaires par la poussière de charbon et la suie des lampes. Les poussiers siliceux des carrières de pierre meulière déchirent les tissus du poumon, et provoquent des crachements de sang.

Certains pulvérins sont, en outre, toxiques, comme ceux des minéraux de l'arsenic, et du cinabre dont nous venons de parler. Cette influence ressort également, pour le plomb et le cuivre, des chiffres suivants, qui expriment la mortalité moyenne des mineurs de 25 à 65 ans, rapportée à 1000 [1] :

Mines de fer	1,80
— de houille	1,82
— d'étain	1,99
— de plomb	2,50
— de cuivre	3,17

On a imaginé certains appareils respiratoires, renfermant une éponge mouillée, à travers laquelle l'ouvrier doit aspirer l'air, qui s'y décharge de ses poussières. Ils ont été employés à la Ferté-sous-Jouarre, et aux houillères de Saint-Éloy. Mais on rencontre la plus grande difficulté à y assujettir les hommes, en raison de la fatigue qu'ils en éprouvent.

Indépendamment de l'action directe exercée sur le mineur, il faut enfin mentionner, en ce qui concerne les poussières de houille, le danger spécial de l'explosion, sur lequel nous reviendrons plus tard (n° 1190).

991 — Il serait à désirer que des analyses nombreuses, faites sur les *retours d'air*, permissent d'établir des comparaisons générales. On peut, du moins, enregistrer, à cet égard, les résultats

(1) *Communication* de M. Neison à l'institut des actuaires de Londres, 1878. — Couriot (*Mémoires de la Société des ingénieurs civils*, mars 1884, 348).

obtenus par la Commission d'enquête pour la revision des règlements concernant la sécurité des mineurs en Saxe (¹). Ces analyses ont été exécutées à la fois sur des mines grisouteuses, et d'autres non grisouteuses; et, en outre, d'une manière comparative, en semaine ou le dimanche, afin de mettre en évidence l'influence du travail, s'ajoutant aux causes naturelles de viciation. Les dosages ont porté sur l'hydrogène protocarboné, l'acide carbonique et l'oxygène.

DÉSIGNATION		COMPOSITION DU RETOUR D'AIR					
		SEMAINE			DIMANCHE		
MINES	DISTRICTS	GAZ DES MARAIS	ACIDE CARBONIQUE	OXYGÈNE	GAZ DES MARAIS	ACIDE CARBONIQUE	OXYGÈNE
Bruckenberg	Zwickau	0,256	1,020	17,958	0,124	0,380	18,806
Bockwa	Hohndorf	0,156	0,146	18,613	0,111	0,143	18,652
Deutschland	Id.	0,131	0,122	18,079	0,115	0,117	17,872
Burgk	Dresde	0,125	0,281	18,611	0,146	0,222	18,828
Lugan	Chemnitz	0,108	0,483	17,751	0,092	0,448	17,693
Oberhorndorf	Zwickau	0,069	0,345	18,506	0,054	0,285	18,667
Hänicken	Dresde	0,041	2,717	18,432	0,048	2,662	18,526
Zaukeroda	Id.	0,021	0,432	19,170	0,017	0,539	19,690
Arnim	Zwickau	0,018	1,076	18,641	0,025	0,952	18,461

L'excès du volume de l'air expulsé sur celui de l'entrée a varié de 7,40 à 16,60 %.

§ 3

PROPRIÉTÉS DU GRISOU

992 — *Composition chimique.* — Le plus redoutable élément que recèle l'atmosphère souterraine est, sans contredit, le grisou, dont la sinistre réputation n'est plus à faire. On désigne sous ce

(¹) Winckler, *Jahrbuch für das Berg und Hüttenwesen in Sachsen*, 1882, 67.

nom [1], moins un composé à proportions définies, qu'un mélange complexe éminemment variable.

Sa base essentielle est l'hydrogène protocarboné, ou gaz des marais C^2H^4. La proportion de cet hydrocarbure atteint parfois 98 %, et reste, le plus souvent, comprise entre 80 et 92 %. Elle peut également s'abaisser à peu près sans limites, car il n'y a pas de séparation précise entre le grisou proprement dit et ce qu'on appelle l'air grisouteux. On trouve, jusque dans des soufflards, de l'azote et de l'oxygène, qui indiquent visiblement un mélange du gaz naturel avec de l'air.

L'hydrogène bicarboné C^4H^4 a été quelquefois reconnu dans le grisou, bien qu'il n'en soit pas un élément nécessaire. Sa teneur, ordinairement nulle, souvent réduite à un petit nombre de centièmes, s'est élevée jusqu'à 16 %. On a rencontré également le méthyle C^4H^6, à dose d'un centième, et divers autres hydrocarbures. L'hydrogène pur a été rarement décélé, depuis de simples traces jusqu'à 3 %. L'acide carbonique se trouve mélangé à l'air grisouteux, et peut atteindre la proportion de 6 %. Quant à celles de l'oxygène et de l'azote, elles présentent peu d'intérêt, en raison de la difficulté de distinguer la portion qui pourrait préexister dans le gaz natif, du résultat de son mélange avec l'air.

Il semble, en outre, que des traces de substances, qui n'ont pas jusqu'ici été précisées par les analyses, jouent un rôle d'une certaine importance dans les propriétés du grisou. On connaît, en effet, des mines spéciales, et, dans certaines mines, des quartiers particuliers, où le grisou est dit *méchant* (*quick*, *sharp*, *silver-gaz*) en raison des dangers plus marqués qu'il y occasionne.

Le tableau suivant [2] présente un assez grand nombre d'exemples d'analyses d'échantillons recueillis dans des mines grisouteuses :

[1] Grisou, brisou, terrou, feu grieux, mofette, mauvais air, mauvais goût, fire live, fire damp, schlagende wetter, etc.

[2] Haton de la Goupillière, Rapport au nom de la Commission du grisou, *Annales*, 7e, XVIII, 201.

MINES	GAZ DES MARAIS	ACIDE CARBONIQUE	OXYGÈNE ET AZOTE	EXPÉRIMENTATEURS
Wellgate	98,20	0,50	1,30	Playfair.
Anzin.	95,75	3,97	1,28	Fouqué.
Gates head	94,20	—	5,80	Graham.
Jarrow	93,40	1,70	4,90	Playfair.
Walsend.	92,80	0,30	7,50	Id.
Hebburn	92,70	0,90	6,40	Id.
Id.	91,80	0,70	7,60	Id.
Walsend	91,00	—	9,00	Turner
Burradon	91,00	—	9,00	Id.
Jarrow	89,00	—	11,00	Id.
Hebburn	86,50	1,60	11,90	Playfair.
Killingworth.	85,00	—	15,00	Turner.
Jarrow	83,10	2,10	14,60	Playfair.
Killingworth.	82,50	—	16,50	Graham.
Jarrow	81,50	—	18,50	Turner.
Id.	79,70	—	15,13	Playfair.
Walsend	77,50	1,30	21,10	Id.
Jarrow	70,70	2,00	18,30	Id.
Killingworth.	66,30	4,03	29,57	Richardon.
Townley.	56,17	6,00	37,83	Id.
Hutton	50,00	—	50,00	Turner.
Plusher.	7,00	—	93,00	Id.

Les chiffres suivants se rapportent au produit direct de soufflards ou de trous pratiqués dans la houille [1].

GAZ DES MARAIS	ACIDE CARBONIQUE	OXYGÈNE ET AZOTE	GAZ DES MARAIS	ACIDE CARBONIQUE	OXYGÈNE ET AZOTE
97,65	0,50	1,85	95,42	—	4,58
97,37	0,42	2,21	95,05	4,26	0,69
97,31	0,38	2,31	94,84	0,10	5,06
96,74	0,47	2,79	94,78	0,72	4,50
96,54	0,44	3,02	94,55	0,63	4,82
95,56	0,35	4,09	74,86	0,15	20,30
95,51	1,96	2,53	47,37	0,90	51,73
95,47	0,62	3,91	—	—	—

[1] Le treizième de ces exemples a été donné par Schondorff, *Zeitschrift BHS*, XXIV, 73; et tous les autres par Thomas, *Journal of the chemical Society*, XIII, 820.

993 — *Densité.* — La densité du gaz des marais à l'état de pureté est 0,56. Celle du grisou sera donc intermédiaire entre ce chiffre et l'unité. La moyenne de douze observations précises [1] a donné la valeur 0,69.

On voit par là que ce gaz est léger, circonstance très importante. Il se tiendra, par conséquent, de préférence au toit des ouvrages, à l'inverse de ce qui a lieu (n° 985) pour l'acide carbonique, qui en occupe ordinairement le sol. C'est donc à la couronne, qu'il y a lieu de redoubler de précautions. C'est par la partie supérieure des travaux, qu'il faudra assurer les moyens d'évacuation naturelle dans les étages supérieurs. C'est au pied du chantier, qu'il conviendra de placer les lampes.

On observe, en effet, une séparation du grisou au-dessus de la couche d'air pur, assez sensible, mais graduelle, et beaucoup moins précise que celle dont nous avons parlé pour l'acide carbonique (n° 985). De plus, dès qu'un certain degré d'agitation a nettement déterminé le mélange, celui-ci ne se liquate plus, et le gaz carburé reste dissous dans la masse de l'air atmosphérique, dont il ne se sépare pas.

994 — *Propriétés physiques.* — Le grisou est incolore ; par suite, inappréciable à la vue. Cependant on a signalé certaines apparences de filaments blanchâtres, comme indiquant l'invasion de ce gaz [2]. Dumas a rapporté cet effet à des différences de réfrangibilité des filets fluides sortant du massif, par rapport à l'air atmosphérique au sein duquel ils se font jour [3].

Le grisou est inodore. L'odeur qu'on lui reconnaît quelquefois lui est alors communiquée par des substances étrangères, telles que l'acide sulfhydrique ou l'ammoniaque.

Il est également insapide, bien qu'on lui ait attribué, dans certains cas, un léger goût de pomme.

[1] Variant de 0,58 à 0,90 (Haton de la Goupillière, Rapport au nom de la Commission du grisou, *Annales*, 7e, XVIII, 214).

[2] Burat, *Troisième supplément du Cours d'exploitation*, 1881, p. 24. — Murgue, *CRM*, 1883, 46. — Valmont de Bomare, *Dictionnaire d'histoire naturelle*, article *Exhalaisons*, Lyon, 1776.

[3] Dumas, *Chimie industrielle*, I, 468.

Le grisou n'est pas vénéneux[1]. Il est asphyxiant. Sous ce rapport, le danger est moins complet qu'avec l'acide carbonique, qui fait tomber l'homme dans la zone la plus chargée de ce gaz, tandis que la chute de l'asphyxié l'éloigne de la couche la plus contaminée par le grisou.

Le gaz des marais est considéré par les chimistes comme nettement insoluble. Cependant plusieurs observations, parfaitement dignes de foi, ont montré des eaux chargées de grisou[2]. Il y a là une circonstance assez difficile à expliquer, et sur laquelle il serait désirable de voir porter la lumière (page 366, note 1).

§ 4

INFLAMMATION DU GRISOU

995 — *Combinaison avec l'oxygène.* — L'hydrogène protocarboné est un corps combustible, dont les deux éléments sont susceptibles de s'unir avec l'oxygène, pour former de l'eau et de l'acide carbonique, suivant la formule :

$$C^2H^4 + 8O = 4HO + 2CO^2.$$

Un volume de gaz, mis en rapport, dans les conditions que nous indiquerons plus loin, avec deux volumes d'oxygène, produit deux volumes de vapeur d'eau qui se condensent, et un volume d'acide carbonique. On voit donc que la combustion du grisou fait disparaître, après le refroidissement, un volume double de celui qu'il occupait dans l'atmosphère, en présence de l'excès d'oxygène.

Cette combinaison peut, du reste, s'effectuer suivant deux modes très différents. Si un jet de gaz pur a été enflammé dans le sein d'une masse d'air également pur, il brûle avec une flamme *blanche*. Si le grisou, préalablement mélangé d'air en proportion convenable, s'écoule encore en forme de bec enflammé dans une atmosphère

(1) M. Mathet penche pour l'opinion contraire, *Bull. min.*, 2e, X, 319.
(2) Chansselle, *CRM*, 1877, septembre, 7. — Chavatte, *CRM*, 1879, avril, 35. — *Règlement de la Compagnie houillère de Bessèges*, p. 18.

pure, il brûle avec une flamme *bleue* légère et caractéristique. A vrai dire, ce n'est jamais que cette dernière qu'observe le mineur, dans les conditions ordinaires des chantiers. Si, enfin, une masse d'air grisouteux, renfermant l'hydrogène protocarboné dans les proportions que nous allons indiquer, vient à subir le contact d'une flamme, elle éclate dans toute son étendue avec une forte détonation. Je répète qu'il faut, pour cela, l'influence d'une flamme. Celle d'un corps solide incandescent ne paraît pas suffisante *en général* pour déterminer l'explosion [1].

996 — L'étude de ces proportions présente d'autant plus d'importance, qu'elles ne laissent qu'une marge extrêmement resserrée entre l'innocuité et le maximum de danger. Si la quantité de grisou n'atteint pas 3 à 4 centièmes, on n'observe rien de spécial par les moyens ordinaires. A partir de ce point, la flamme des lampes commence à *marquer*, c'est-à-dire à s'environner d'une auréole bleuâtre, en même temps qu'elle s'allonge et devient fuligineuse. A 6 %, la flamme est très longue, et l'auréole très épanouie. A 7 ou 8 %, l'inflammation se propage dans la masse avec une lenteur relative. Aussi voit-on quelquefois le feu courir au faîte des galeries comme une traînée de poudre, menaçant d'une catastrophe imminente, s'il vient à rencontrer des régions où la proportion soit encore plus élevée. L'explosion est alors instantanée, et c'est vers 12 à 14 %, c'est-à-dire 1/7 à 1/8, qu'elle atteint son maximum d'énergie. Au delà, on traverse, en ordre contraire, toute une série d'effets analogues. Vers 20 %, on se retrouve à peu près dans les mêmes conditions qu'à 6 %; et, à 30 %, la lampe s'éteint. Il est inutile de rappeler que ces observations ne peuvent se faire qu'avec une lampe de sûreté.

Ajoutons encore qu'avec certains grisous *quick* (n° 992), la limite inférieure d'inflammabilité s'abaisse à la moitié de la précédente, d'après les expériences du professeur Abel [2]. Au contraire,

[1] Il semble toutefois y avoir lieu de faire des réserves, tout au moins pour les charbons de la lumière électrique, et même pour les étincelles que l'on dégage en battant le briquet (n° 1001).

[2] *Annales*, 8e, I, 72.

les proportions explosives du grisou perdent une partie de leur efficacité en présence de l'acide carbonique.

997 — L'explosion du grisou peut, sans le contact d'une flamme, être déterminée par l'étincelle électrique, et il est nécessaire de prendre cette circonstance en sérieuse considération dans les applications de l'électricité à l'art des mines. Si 1 volume de grisou ([1]) est mélangé avec moins de 5 volumes d'air, on observe une étincelle bleuâtre sans détonation. Pour 6 volumes d'air, on commence à obtenir une série de petites saccades explosives. De 7 à 9, la détonation a lieu nettement avec un bruit sec. Pour 12 à 15 volumes, il y a encore une déflagration qui va en s'affaiblissant; et, à 16 volumes, on n'observe plus que de petites commotions intermittentes.

998 — *Vitesse d'inflammation.* — La vitesse d'inflammation, c'est-à-dire celle avec laquelle le grisou brûle de proche en proche, n'est pas constante. Elle dépend de la teneur du mélange. Cette donnée a été déterminée par MM. Mallard et Lechatelier, membres du Corps des mines ([2]). Ces expérimentateurs ont trouvé, comme maximum, la vitesse de $0^{m},62$ laquelle correspond à un mélange de 12,1 parties de grisou avec 100 parties d'air.

La propagation est gênée dans un tube trop étroit, et l'inflammation du mélange le plus détonant d'air et de grisou ne se propage plus dans un tube de $0^{m},0032$ de diamètre ([3]).

La vitesse est également ralentie par la présence d'un gaz inerte. Si ce dernier est l'azote, le ralentissement est proportionnel à la quantité ajoutée. Avec l'acide carbonique, le ralentissement, d'abord plus marqué, finit par rester stationnaire.

999 — Il est bien nécessaire de ne pas confondre cette vitesse d'*inflammation* avec celle de *propagation* du coup de feu à travers

([1]) Coquillion (*Comptes rendus de l'Académie des sciences*, 9 octobre 1876).

([2]) *Annales*, 7e, VII, 355. — *Pièces annexées* aux procès-verbaux des séances de la Commission du grisou, p. 68.

([3]) Mallard et Lechatelier (*Comptes rendus de l'Académie des sciences*, XCIII, 148).

la mine. Ce dernier élément dépendra en partie de la vitesse du courant d'air préexistant dans les travaux, mais, à un bien plus haut degré encore, de l'énorme poussée mécanique qui est produite par l'expansion du gaz, subitement porté à une température élevée, et des étranglements que peut rencontrer, sur sa route, cet ouragan.

L'agitation de la masse sera le facteur le plus essentiel de cette propagation. C'est ainsi ([1]) que, si l'on prend un tube de verre de $2^{m},00$ de long et de $0^{m},03$ de diamètre, fermé par un bout et rempli de mélange explosif, le feu, mis à l'extrémité libre, descend doucement en trois secondes jusqu'au fond du tube, sans explosion. Si, au contraire, on l'enflamme au fond à l'aide de l'électricité, la flamme traverse tout le tube dans un temps inappréciable, en produisant une violente détonation comparable à celle d'un coup de fusil.

Comme exemple analogue, on peut citer celui du *mélange tonnant* d'oxygène et d'hydrogène qui, avec une vitesse spécifique d'inflammation de 20 mètres environ, peut donner naissance à une propagation de 2000 mètres par seconde, d'après MM. Berthelot et Vieille, eu égard aux dilatations qui mettent le gaz en mouvement.

1000 — On a souvent énoncé que la propagation d'un coup de grisou présente une tendance plus prononcée à remonter le courant de la ventilation qu'à le descendre. Il est, au contraire, évident que, pour une explosion faible et locale, l'inflammation ne pourra parvenir à remonter le courant s'il possède, à l'avance, une vitesse supérieure à $0^{m},62$. La rapidité de cet écoulement viendra, en tout état de cause, en déduction de celle de la propagation à contre-sens. Seulement, pour une explosion violente et générale, cette influence restera complètement inappréciable; mais il est impossible qu'elle se transforme en une facilité spéciale offerte à la propagation du phénomène.

On peut s'expliquer, cependant, que le fait en question ait été réellement observé. Il suffit, pour cela, d'imaginer qu'une bouffée adventice de grisou, cheminant sans se mélanger à l'air ambiant, arrive sur un feu capable de l'allumer. Dans ce cas, en effet, au

([1]) Mallard et Lechatelier (*Annales*, 8e, I, 29).

moment où la tête de colonne atteint ce point, la masse combustible, capable de propager l'inflammation, se trouve en amont et non en aval du courant.

1001 — *Température et pression d'inflammation.* — La température d'inflammation, déterminée par les mêmes ingénieurs, est de 780 degrés. Elle paraît indépendante de la composition du mélange.

Si l'on opère au moyen d'un fer porté au rouge blanc, on observe quelquefois un retard à l'inflammation qui exige un contact de plusieurs secondes (1).

La pression développée par la déflagration paraît varier avec la teneur en grisou. Son maximum est de 6,5 atmosphères, et correspond environ à la proportion d'un dixième (2).

§ 5

GISEMENT DU GRISOU

1002 — *Pression dans la houille.* — Lorsque le dégagement du grisou est abondant à un front de taille, une oreille attentive le perçoit aisément, d'après un petit bruissement particulier que les mineurs appellent le *chant du grisou*. On dit également que le gaz *frise*. On peut comparer ce bruit à celui de la pluie, ou encore à celui d'une bouilloire pendant les instants qui précèdent la mise en train de l'ébullition. Ce phénomène est dû à la décrépitation d'une multitude de parcelles de houille extrêmement ténues, détachées par la tension des bulles de gaz qui tendent à s'échapper des pores du combustible.

Cette pression est souvent importante. On voit certaines houillères dont les fronts de taille se gonflent ou s'exfolient, et vont même jusqu'à faire explosion. Parfois les piqueurs établissent, pour la nuit, un troussage avec des planches et des étais, pour éviter que le gonflement ne fasse éclater la houille en petits morceaux. Dans

(1) Mallard et Lechatelier (*Comptes rendus de l'Académie des sciences*, XCI, 827).

(2) Mallard et Lechatelier (*ibidem*; — *Annales*, 8e, IV, 274, 379). — Vieille (*Comptes rendus de l'Académie des sciences*, XCV, 1280).

certaines exploitations du Borinage, les ouvriers s'abstiennent de hâver sous le charbon, pour ne pas offrir une issue de plus au gaz. Ils aiment mieux le conserver comme un auxiliaire, en attaquant en face un front de taille que la pression tend, par derrière, à pousser au vide.

M. l'ingénieur en chef des mines de Marsilly, en enfermant sous une cloche pleine d'eau du charbon fraichement abattu([1]), a constaté un dégagement gazeux représentant plusieurs fois le volume de la houille. D'après la loi de Mariotte, cette circonstance indique une pression originelle égale à un même nombre d'atmosphères; résultat qui ne peut même être considéré que comme un minimum encore éloigné de la réalité, puisque ce mode d'évaluation supposerait que le grisou occupe le volume même de la houille, tandis qu'il n'en remplit que les pores.

En forant directement, dans le massif, des trous de sonde et y insérant un manomètre, on a reconnu, dans le Flénu, des pressions gigantesques atteignant 20 et 23 atmosphères ([2]). Mais il y a plus encore, et M. Mallard, en analysant des résultats obtenus par M. Lindsay Wood ([3]), a montré que cette tension, dont on parlait avant ce dernier expérimentateur, comme d'un élément déterminé, est, au contraire, essentiellement variable avec la distance à la surface libre, suivant une loi à peu près logarithmique; et qu'un équilibre de pression tend à s'établir de proche en proche, de manière à maintenir partout la différence de tension nécessaire pour déterminer l'écoulement, malgré les résistances, à travers ces circuits capillaires. Les mesures directes de M. Lindsay Wood ont atteint le résultat exorbitant de 33 atmosphères.

1003 — L'énormité de ces pressions donne en partie la clef des phénomènes, encore fort obscurs ([4]), qui sont connus sous le nom

([1]) *Annales*, 3e, XII, 356.

([2]) *CRM*, 1879, 165. — *AP*, Belgique, 18. — Cornet (*Bulletin* de l'Académie royale de Belgique, 2e, XLVII, mai 1879).

([3]) Lindsay Wood. Experiments showing the Pressure of Gaz in the solid Coal (*Proceedings* of the north of England Institution of mining and mechanical Engineers, XXX, 1881; extrait par M. Mallard, *Annales*, 8e, I, 530.

([4]) G. Arnoult. *Étude* sur les dégagements instantanés de grisou dans les mines de houille du bassin belge, Bruxelles, 1870; — Cornet, *Bulletin* de l'Académie royale de

de *dégagements instantanés*, et restent, jusqu'à présent, à peu près circonscrits dans le Couchant de Mons ([1]). Ils se trouvent toujours en relation avec la présence d'une variété spéciale de combustible, désignée sous le nom de houille *daloïde*. Cette substance noire, fibreuse et pulvérulente, appelée *fusain* à Saint-Étienne, n'est autre que du charbon de bois ayant conservé sa structure, et appartenant, soit à des fougères arborescentes, soit à des sigillaires ou à des cordaïtes. Ces accidents sont de plus en plus accusés dans la profondeur. On n'en a observé aucun au-dessus du niveau de 280 mètres. L'explosion est toujours accompagnée de la projection d'une grande quantité de charbon menu, dépassant le chiffre de 400 mètres cubes, et que l'on retrouve parfois *froid comme glace*. Quant au volume gazeux, il atteint des proportions inimaginables (n° 1189).

1004 — C'est dans les premiers moments de la mise au vif, que les surfaces débitent le gaz avec le plus d'énergie. Au bout de quelques heures, l'activité du dégagement est déjà très atténuée. Elle se continue cependant, en s'affaiblissant de plus en plus.

Pour ce motif, on ne doit, suivant les cas, conduire qu'avec une lenteur suffisante l'avancement sur chaque point. En effet, l'écoulement ayant lieu en raison des surfaces mises à nu, la fragmentation poussée très loin, par le fait de l'abatage, pourrait répandre dans le chantier des torrents de grisou, si le front de taille ne s'était pas assaini sur une certaine épaisseur, par une durée convenable d'exposition à l'air.

Pour la même raison, l'on est, sur quelques points, dans l'habitude de *saigner* le massif avant de l'abattre. On y pratique, à cet effet, des trous de sonde qui lui soutirent progressivement son gaz, de manière à diminuer la contamination produite par la tombée.

Belgique, 2e, XLVII, mai 1879). — De Vaux (*Rev. univ. d. m. et u.*, IX; et *Bull. min.* 1re, XII, 141). — Dégagement de l'Arbousset, Trélys (*CRM*, 1882, 117).

([1]) On a mis en avant, à cet égard, l'hypothèse de l'existence du grisou sous la forme solide ou liquide. Cette discussion, soutenue avec beaucoup de talent, paraît encore reposer sur des bases trop précaires, pour que nous entrions ici, à son égard, dans des développements étendus (Haton de la Goupillière, Rapport au nom de la Commission du grisou, *Annales*, 7e, XVIII, 217). — F. Brabant, Les variations atmosphériques et la ventilation des mines à grisou (*Annales* des Travaux publics de Belgique, XLII).

On peut, d'après ce qui précède, admettre, avec une approximation suffisante, que le total du grisou déversé dans la mine en vingt-quatre heures, est proportionnelle à l'étendue des surfaces mises au vif, toutes choses égales d'ailleurs, et, par suite, en raison de l'extraction journalière, ou, enfin, du nombre des piqueurs à la taille.

1005 — Quant au coefficient de proportionnalité, il reste spécifique de chaque gisement, et même de chaque quartier d'un même gîte. A cet égard, rien n'est plus variable que la teneur de la houille en grisou. Beaucoup de charbonnages n'en ont jamais présenté de traces, tandis que d'autres placent le mineur dans les conditions les plus périlleuses.

En général, cette richesse en gaz paraît être en relation avec la nature *grasse* du charbon. Les houilles *maigres* ne dégagent pas de grisou, ou, du moins, ne le font que dans des proportions plus réduites. Cependant la raison déterminante de ces différences paraît devoir être cherchée, non seulement dans la nature du combustible lui-même, qui a dû être assez uniforme à l'origine de la formation, mais encore dans celle du toit, qui a servi en quelque sorte de couvercle, pour renfermer dans la couche tous les produits de son métamorphisme. Suivant que ce recouvrement s'est trouvé étanche ou perméable, qu'il a conservé son homogénéité ou a été fissuré par des accidents ultérieurs, le gaz est resté prisonnier ou a pu s'échapper au dehors.

1006 — *Sacs de grisou.* — Parfois cette déperdition aura eu lieu à l'air libre. Dans d'autres cas, il y a eu simple extravasion du grisou dans un toit poreux qui en est resté imprégné, et que le gaz n'aura pu franchir, en raison de l'obstacle opposé par un nouveau recouvrement étanche. Il arrive, en effet, que certains ouvrages pratiqués au rocher dégagent du grisou, et que l'on y subit des accidents aussi graves que dans le combustible lui-même ([1]).

([1]) A la mine de Llwynpia (South-Wales), on a rencontré, au sommet de la série des couches de charbon à vapeur, un grès craquelé tellement grisouteux, que l'on a pu en capter le gaz dans un tuyau qui sert depuis plusieurs années à l'éclairage de la surface. Il en a été de même à Outwood (Lancashire), à Ladyshore, etc. (n° 1007).

On a vu, de nos jours, le grisou se répandre jusqu'au sol, à travers la masse des terrains (1).

Dans d'autres circonstances encore, le gaz s'est accumulé dans des cavités naturelles, très habituellement des failles, fermées par le haut en forme de poche. De là ces dépôts funestes qui sont connus sous le nom de *sacs de grisou* (2). Ces gisements gazeux se trouvent de préférence au toit. Cependant le mur lui-même peut en contenir. On le trouve surtout aux crochons, et aux changements brusques de pente. Leur peu de volume expose le mineur à les manquer, lorsqu'il éclaire sa marche à l'aide de coups de sonde, dont il fait précéder ses avancements dans les gîtes dangereux. Cette précaution ne doit donc pas être considérée comme fournissant une garantie absolue, et ne dispense pas d'apporter une grande prudence dans les cheminements.

1007 — *Soufflards.* — On appelle *soufflard* une sorte de fontaine de gaz, dont la durée, parfois éphémère, peut aussi se compter par mois, et même par années. Quelques-uns d'entre eux ont fonctionné pendant un demi-siècle (3). On a pu en capter un certain nombre pour fournir à l'éclairage des abords extérieurs du puits (4).

La tension des soufflards, qu'il ne faut pas confondre avec celle du grisou emprisonné dans la houille, a été trouvée égale à plusieurs atmosphères. Elle peut également se rapprocher sans limites de la pression ambiante. Leur débit, éminemment variable, s'est, dans certains cas, exceptionnellement maintenu, pendant une année entière, à 150 et 200 mètres cubes dans les vingt-quatre heures, ce qui représente un poids de vingt à trente tonnes (5).

Les soufflards, très fréquents en Angleterre, y ont été trouvés souvent en relation avec des venues d'eau (6). Peut être ces dernières

(1) *Rev. univ. d. m. et u.*, 1re, VII, 337. — *Bulletin administratif de la ville de Liège*, 1860.

(2) Blowers, Sudden outburts.

(3) Renier-Malherbe, *le Grisou*, p. 80.

(4) Jars, *Voyages métallurgiques*. — *Journal de Silliman*, X, 399. — Reports on Accidents of Mines, p. 110.

(5) Conférence de M. Wills à la Société des Arts de Londres (*Bull. Soc. d'enc.*, 3e, VII. 162).

(6) *PA*, Angleterre, 50.

fonctionnent-elles dans des cavités souterraines à la manière des trompes, soutirant le gaz de son gisement, et l'entraînant sur leur parcours. Il arrive fréquemment que les soufflards se déclarent en même temps que d'abondantes sources d'eau. Stephenson a signalé [1] un soufflard alternativement positif ou négatif, c'est-à-dire émettant du grisou, ou absorbant l'air de la mine. Cette circonstance bizarre s'expliquerait, dans cette hypothèse, par les variations de régime de quelque cours d'eau intérieur.

Ces écoulements gazeux sont principalement en relation avec des failles, qui servent de collecteurs en traversant toutes les formations. Les soufflards et les sacs de grisou constituent le fléau des houillères anglaises. On y est exposé à leurs invasions subites. Le toit d'un chantier donne, ou le mur se soulève. Des lignes de fracture se déclarent parallèlement au front de taille, sur des longueurs qui atteignent 50 mètres. Elles se ramifient dans les galeries, et donnent issue à des torrents de gaz. Sans doute, la méthode d'exploitation n'est pas étrangère à ces manifestations, en raison des énormes vides que présentent les mines de la Grande-Bretagne [2], et qui mettent en tension les masses ainsi placées en porte-à-faux. Un meilleur soutènement pourrait, sans doute, ménager une déperdition plus régulière, et, par cela seul, moins dangereuse, du grisou renfermé dans les épontes du gisement. Mais l'emploi des remblais rapportés est encore inconnu dans ces charbonnages. On est arrivé à diminuer notablement ces venues redoutables, en saignant méthodiquement le mur à l'aide de coups de sonde, comme pour la couche *Wigan nine Feet*, ou par un véritable drainage effectué au moyen de coupures, comme pour le toit d'*Old Coal* à Aberdare [3].

1008 — *Le grisou dans les mines métalliques.* — Ce gaz a été rencontré dans des mines de sel [4]. La saline de Szlatina était éclai-

(1) Report on the Accidents of Mines, 110.
(2) Tome I, p. 430.
(3) *PA*, Angleterre, 57.
(4) *CRM*, 1882, 130. — *Annales de Poggendorff*, VII, 133. — *Annalen der Phys.* Gilbert, XXXVII, 1.

rée au grisou dès 1826. Cette circonstance n'a, du reste, pas lieu d'étonner, si l'on réfléchit à la concomitance presque continuelle entre le chlorure de sodium et l'hydrogène protocarboné. Souvent le sel gemme décrépite en se dissolvant dans l'eau, au moment où s'affaiblissent suffisamment les parois des cellules qui renferment le gaz.

M. Pernolet a également cité des coups de grisou qui ont eu lieu dans les soufrières de Sicile. La même circonstance peut encore être invoquée à cet égard, car le soufre fait souvent partie, ainsi que les bitumes et les pétroles, du *cortège* que je viens de mentionner.

On éprouve plus de surprise à rencontrer le grisou dans des mines essentiellement métalliques. M. l'inspecteur général des mines Daubrée a, le premier, signalé ce fait dans les minerais de fer pisolitiques de Gundershoffen et de Winckel (Alsace) [1]. Ce gaz a également fait son apparition dans les mines de fer d'Exincourt et de la Voulte [2].

On l'a trouvé de même dans les mines de plomb, de zinc ou de cuivre de Pontpean (Ille-et-Vilaine) [3], du Grand-Saint-Jean (Giromagny), du Laurium (Attique), de Rocca-Federighi et de Monte-Cattini (Toscane) [4], d'Outonagon (Lac Supérieur). A Pontpean, le grisou paraît venir de la profondeur, par des fissures ouvertes à travers le terrain silurien. Cette circonstance tendrait à donner une explication générale de la présence de ce produit dans des gîtes filoniens, d'une manière indépendante de la nature de la minéralisation, dont ils ont été imprégnés à une époque reculée.

Il ne serait pas non plus impossible d'admettre, dans d'autres cas, que la présence de vieux bois, ou de matières végétales en décomposition au contact de l'eau, donne lieu à un développement de gaz des marais, capable de brûler des hommes, s'ils viennent à déboucher à feu nu dans des travaux abandonnés.

(1) *Annales*, 4e, XIV, 33.
(2) *Annales*, 5e, VI, 94.
(3) Massieu (*Pièces annexées* aux procès-verbaux de la Commission du grisou, 1er fascic. 145).
(4) *CRM*, 1879, janvier, 6.

§ 6

INFLUENCE BAROMÉTRIQUE

1009 — *Étude théorique.* — Tout dégagement gazeux ayant pour ses deux facteurs essentiels la pression et la température, on conçoit *a priori* que les mouvements du baromètre (¹) et du thermomètre puissent avoir un certain retentissement sur le régime du grisou. Tout le monde sera sans doute unanime pour admettre le fait en lui-même ; mais le désaccord commence lorsqu'il s'agit de se prononcer sur l'importance effective de cette influence. Les deux opinions opposées ont, à cet égard, leurs partisans très convaincus,

(¹) Il importe de ne pas perdre de vue, d'après une remarque de M. F. Brabant (Les variations atmosphériques et la ventilation des mines à grisou, *Annales* des travaux publics de Belgique, XLII), que les variations du baromètre sont plus importantes au fond qu'à la surface.

En effet, la relation des pressions en deux points séparés par une différence de niveau égale à H, en un lieu de latitude l, est fournie par la formule de Laplace :

$$H = 18405 \left(1 + 0{,}002552 \cos 2l\right) \left(1 + \frac{\theta + \theta'}{500}\right) \text{Log} \frac{p}{p'},$$

si p, p'; θ, θ' désignent les pressions et les températures. Cette équation donne donc :

$$p = mp',$$

et, par suite, pour les accroissements finis que subissent simultanément ces deux quantités :

$$\Delta p = m\Delta p'.$$

Or, c'est au fond que la pression est la plus grande, c'est donc également au fond qu'elle éprouvera les plus fortes variations.

Si l'on suppose, pour nos climats :

$$l = 45^\circ, \qquad \theta = 15, \qquad \theta' = 10,$$

la relation devient :

$$\text{Log} \frac{p}{p'} = 0{,}000051746\,H.$$

On aura, par exemple :

$$H = 500, \qquad \frac{p}{p'} = 1{,}0615$$

$$H = 1000, \qquad \frac{p}{p'} = 1{,}1265.$$

On peut donc facilement admettre, pour des mines profondes, que les variations barométriques de la surface se trouveront amplifiées de 10 % dans le fond.

et nous allons nous efforcer de faire connaître l'état actuel de la question [1].

Une distinction préjudicielle semble devoir dominer tout le débat, suivant qu'il s'agit de mines aérées naturellement, ou à l'aide de moyens artificiels. Dans le premier cas, la cause motrice, résultant uniquement des conditions atmosphériques, les variations du baromètre pourront alors se traduire plus directement, par une influence sur l'état de l'air des galeries. Au contraire, l'emploi des ventilateurs comporte des inégalités, comparables comme importance, et sans aucune corrélation, avec celles du baromètre, ce qui tendra naturellement à masquer le résultat de ces dernières, et à jeter beaucoup d'incertitude sur les observations.

Il y a lieu également d'établir une seconde distinction fondamentale, entre la masse d'hydrogène carboné encore emprisonnée dans le massif, d'où elle se dégage à l'état d'écoulement incessant par les surfaces d'attaque, et, d'un autre côté, la quantité déjà mise en liberté, et mélangée à l'air qui remplit les tailles et les voies de communication, ainsi que les vides des remblais et des éboulements. Cette dernière suit, en effet, de près la pression atmosphérique de l'extérieur, tandis que le grisou renfermé dans le massif s'y trouve, comme nous l'avons vu (n° 1002), à une tension élevée, parfois énorme, vis-à-vis de laquelle un centimètre de mercure, capable de déterminer une perturbation atmosphérique considérable, paraîtra bien peu de chose, et sera incapable d'apporter à l'écoulement une modification vraiment importante.

1010 — Le véritable intérêt de la question se trouve donc dans les masses de gaz déjà dégagé. Mais on peut encore en faire deux parts, en ce qui concerne, comme nous venons de le dire, les tailles, les voies de communication, ou les vides béants que laissent certaines méthodes d'exploitation, lesquels, placés en communication ouverte

(1) Harzé. *Des mines à grisou et des dépressions atmosphériques*. Bruxelles, 1881. — Dobson. *Reports of the british Association*. 1855. — Dickinson. Rapport de 1866. — *Transact. NEI*, XIX. — Simmenback. *Journal de la Société météorologique autrichienne*, février 1872. — Lancaster. *Revue d'astronomie et de météorologie*. Bruxelles, 1880. — Haton de la Goupillière, Rapport au nom de la Commission du grisou (*Annales*, 7e, XVIII, 232).

avec l'atmosphère extérieure, subiront très directement le contrecoup de ses variations ; ou bien, au contraire, les interstices laissés dans les remblais et les éboulements, qui présentent de grandes résistances au mouvement des fluides. La communication des pressions ne saurait donc s'y transmettre que lentement, et avec un retard marqué.

En outre, d'après une opinion qui gagne tous les jours du terrain [1], il semble que le gaz confiné dans ces espaces isolés y subisse une oxydation lente, qui le change en acide carbonique. De nombreuses observations tendent, en effet, à montrer que l'on ne trouve pas de grisou en rentrant dans les vieux travaux. Il sera cependant prudent de n'accepter cette conclusion qu'avec beaucoup de réserve. Il est bien probable qu'il ne saurait y avoir, en pareille matière, qu'une règle dominante, mais non exclusive. Dans certaines conditions, avec des dégagements durables, des parois étanches, des ouvrages en cloche, la contamination pourra se perpétuer d'une manière plus durable [2]. Il est important d'ailleurs de ne pas perdre de vue que, l'observation du grisou à la lampe de sûreté étant rendue plus difficile par la présence de l'acide carbonique (n° 996) qui abonde dans ces vieux travaux, il peut planer un certain doute sur ce genre d'observations.

1011 — On a basé divers calculs sur des hypothèses plus ou moins gratuites, relatives à l'étendue de ces vides [3]. Il règne naturellement une grande incertitude dans de telles évaluations, car cette appréciation dépend à la fois de l'étendue variable des exploitations, du degré de soin avec lequel sont faits les remblais, et, surtout, de la pression sous laquelle ils se trouvent serrés, quand la charge donne. Du reste, les conclusions numériques déduites de ces hypothèses perdent beaucoup de leur valeur dans l'argumentation, si l'on considère qu'elles ne sauraient formuler que des moyennes.

(1) MM. Chansselle, Delafond, Delahaye, Desbief, Murgue, etc. (*CRM*, déc. 1877, p. 4).

(2) La présence du grisou dans les vieux travaux était assez habituelle, pour avoir propagé chez les anciens mineurs belges cette croyance, que ce gaz se formait par la réaction lente de l'air et de l'eau sur la houille (Genneté, *Connaissance des mines de houille ou charbon de terre*, 1774).

(3) Dombre, *le Grisou*, 18. — Soulary (*Annales*, 7e, XI). — Francis Laur (*Bull. min.*, 2e, VI, 294, 796). — *Transact. NEI*, XVIII, 150.

Or, si une moyenne inquiétante tend incontestablement à prouver la réalité du danger, une moyenne rassurante ne saurait l'écarter d'une manière certaine. En effet, la proportion produite sur chaque point par les suintements du gaz sera loin d'être uniforme ; elle pourra se trouver exceptionnellement marquée dans certaines parties, et il suffit d'un seul endroit dangereux pour faire planer le péril sur la mine entière.

On peut donc craindre *a priori* que le courant d'air, calculé en vue de le mettre en rapport avec les nécessités ordinaires, sans exagération, ne devienne insuffisant, lors d'une baisse barométrique qui fait sortir le mauvais air de ses repaires. Si ce courant était pur, il se trouvera dans des conditions inquiétantes ; s'il était déjà sujet à caution, il sera peut être porté à la proportion la plus périlleuse. Cette proportion elle-même pouvait, à la rigueur, sans un inconvénient actuel, exister dans la masse des vieux travaux, loin du contact des lampes et des coups de mine, mais si elle envahit la circulation générale, elle y fait naître un danger imminent.

1012 — *Étude expérimentale.* — Toutefois les raisonnements *a priori* ne sauraient suffire dans une matière aussi complexe, et il est indispensable de ne conclure que d'après des faits observés. La méthode qui permettra d'éclaircir une pareille question doit, du reste, être instituée avec un grand soin, et bien des causes d'erreur pourraient en fausser les résultats.

Il convient d'abord de ne pas prendre des registres d'accidents comme unique document. En effet, l'accident, qui suppose, il est vrai, l'invasion du grisou, exige en outre une circonstance fortuite quelconque, que toutes les précautions tendent précisément à écarter le plus possible, et qui aura déterminé l'inflammation. Le hasard aurait donc une grande part dans un pareil relevé. De plus, quelques-uns de ces registres ne mentionnent que des accidents ayant occasionné mort d'homme ou, tout au moins, des blessures d'une certaine gravité, circonstance étrangère au fond de la question. Enfin les chômages périodiques ou fortuits, en retirant la presque totalité du personnel, changent les conditions sous ce rapport.

On doit préférer les documents suivants. En premier lieu, les re-

gistres barométriques, dont le *Coal Mines Regulation Act* a prescrit la tenue régulière dans les houillères anglaises, ou ceux d'un observatoire météorologique situé à portée du district minier. L'emploi d'un baromètre enregistreur peut fournir des renseignements encore plus complets.

On rapprochera de ce premier ordre de données, les rapports quotidiens, qui sont également tenus à jour dans beaucoup de mines, et doivent mentionner les apparitions de gaz, ou les aggravations de l'état normal de l'atmosphère souterraine. D'après la loi anglaise, ce genre d'observations doit être consigné chaque jour pendant l'année qui suit une manifestation de grisou.

On ne saurait d'ailleurs chercher la démonstration de la corrélation entre la baisse barométrique et l'invasion grisouteuse, dans une simultanéité rigoureuse de ces deux circonstances. On admet avec raison un certain retard, pour le retentissement de la première sur la seconde; mais il est permis de penser qu'on l'a poussé jusqu'à l'exagération, en acceptant un délai de trois jours pour mettre en rapport ces deux ordres de faits. Nous verrons, inversement, que quelques auteurs admettent une avance de l'infection sur la baisse barométrique, pour des motifs que nous expliquerons plus loin, car cette proposition paraît, au premier abord, paradoxale.

1013 — MM. Galloway et Scott ont exécuté, pour cette enquête, un travail considérable (¹). Procédant à un triage méthodique des sources qui leur paraissaient les plus sûres, ils ont mis à contribution les registres de trente-cinq mines plus ou moins grisouteuses, pour construire des courbes représentatives des deux phénomènes. La discussion comparative de ces tracés les a conduits à affirmer la corrélation des deux ordres de faits. Une des circonstances qui tendent à donner à cette démonstration une plus grande valeur, consiste en ce qu'elle présente souvent des groupes de faits, et non une observation isolée, en concomitance avec une même dépression barométrique.

(¹) *Proceedings of the royal Society*, 1872, n° 134. — *Quarterly Journal of the meteorological Society*, octobre 1873 et octobre 1874.

M. l'ingénieur des mines Sauvage [1] a, depuis lors, appuyé ces conclusions à l'aide des registres d'observations de la Compagnie d'Anzin, dont les ingénieurs sont, en général, favorables à cette manière de voir. Il en est de même dans la grande majorité des exploitations belges.

M. Nasse [2] a repris la question par une méthode nouvelle et intéressante. Au lieu d'un district entier, il envisage une seule mine, et même un point unique de cette mine, pour en étudier les dégagements d'une manière incessante. Indépendamment de la corrélation des deux faits, il dégage en outre, de ses études, une circonstance qui était de nature à rester dissimulée dans les recherches concernant un ensemble d'exploitations. C'est l'existence d'un degré déterminé de baisse, sensiblement constant et caractéristique, nécessaire pour provoquer le dégagement du gaz, et qui doit probablement, en restant invariable pour chaque mine, ou chaque quartier de mine, varier de l'un à l'autre.

1014 — Dans le camp opposé, M. l'inspecteur général des mines Castel [3] est arrivé, par une étude approfondie du bassin de Saint-Étienne, à formuler une conclusion négative.

M. l'ingénieur des mines Lechatelier [4] a de même attaqué les conclusions de M. Galloway. En discutant le parallélisme de ses deux courbes, il le trouve plutôt favorable à une avance de l'infection grisouteuse sur la baisse barométrique, opinion déjà mise en avant par M. Warbuton [5].

Remarquant, du reste, que la variation du thermomètre précède en général, et provoque, jusqu'à un certain point, celle du baromètre, il incline à penser que cette dernière et le dégagement gazeux, au lieu d'être, l'une pour l'autre, cause et effet, ne seraient que deux effets d'une même cause, à savoir la variation thermométrique. Il convient d'ailleurs d'ajouter que M. Galloway lui-même

(1) *Annales*, 7e, XI.
(2) *Zeitschrift BHS*, XXV, 267.
(3) Pièces annexées aux procès-verbaux de la Commission du grisou, 1er fascic. 152; 2e fascic. 1.
(4) *Ibidem*, 1er fascic. 98.
(5) Dombre, *le Grisou*, 23.

admet une influence thermométrique, à côté de celle du baromètre.

On doit en attendre encore une spéciale de l'état de l'hygromètre [1]. En effet, suivant que l'air extérieur est plus ou moins sec, il se trouve en état de se charger dans la mine d'une plus ou moins grande quantité de vapeur d'eau, en se refroidissant par là dans une mesure variable, circonstance qui est de nature à influer sur les conditions de la ventilation.

1015 — Tel est l'état de la question des influences atmosphériques sur les dégagements intérieurs [2]. La Commission du grisou, après un examen approfondi, ne l'a pas jugée encore mûre pour une décision absolue et définitive, tout en inclinant à conclure que « l'influence barométrique est au moins douteuse, et que, dans le « cas où elle se ferait sentir, elle ne paraît pas de nature à modifier « d'une manière très importante les conditions de sécurité des « mines à grisou [3] ».

Il convient, tout en laissant la question dans cette phase provisoire, de faire observer qu'il n'y a pas une parité complète entre les conséquences effectives à tirer, pour le moment, en ce qui concerne la pratique de l'exploitation, de l'une ou l'autre des deux hypothèses. S'il peut, en effet, y avoir un réel danger à négliger une influence capable de rendre périlleuses les conditions de la mine, on n'aura guère d'autre risque à courir que celui du temps perdu et d'un déploiement de précautions inutiles, à baser, sur l'affirmation opposée, une surveillance attentive du baromètre et du thermomètre.

Plusieurs Compagnies ont institué ce service sur le carreau de la mine, et le mécanicien de l'aérage doit tenir compte de ses indications. M. Timmermanns a même proposé un ventilateur qui règle automatiquement son allure, sous l'empire d'un régulateur à action

(1) F. Brabant, les variations atmosphériques des mines à grisou (*Annales* des travaux publics de Belgique, XLII).

(2) A toutes ces influences, M. l'inspecteur général des mines de Chancourtois ajoute les effets séismiques, résultant des oscillations plus ou moins sensibles de l'écorce terrestre (*Comptes rendus de l'Académie des Sciences*, XCVII, 502).

(3) *Procès-verbaux* de la Commission du grisou, séance du 17 mars 1880.

variable, commandé directement par les changements du baromètre [1].

1016 — *Influence du vent.* — On admet, en général [2], que le vent a une direction inclinée sur l'horizon, parfois ascendante, et, beaucoup plus souvent, plongeante. C'est pour ce motif que l'on incline l'axe des moulins à vent [3]. M. Cornet suppose, d'après cela [4], que la composante verticale du vent régnant doit modifier d'une manière sensible la ventilation des mines, suivant qu'elle est plongeante ou ascendante, qu'elle s'exerce sur les puits d'entrée ou de sortie de l'air, et que les dispositions topographiques et celles des bâtiments voisins tendent à concentrer ou à masquer cette action. Nous verrons, en effet (n° 1122), que l'on s'est servi de ce moyen pour déterminer dans les mines une ventilation, à la vérité, des plus insuffisantes. Il est permis de penser que cette influence, presque toujours très effacée, peut cependant acquérir une importance réelle, en raison de certaines combinaisons de circonstances, que l'on devra chercher à se rendre favorables, d'après ce que l'on saura des vents régnants dans la contrée.

[1] *The Engineer*, 22 novembre 1878, 368.

[2] Poncelet, *Mécanique industrielle.* — Montigny (*Bulletin de l'Académie royale de Belgique*, 2e, XXXIV).

[3] Cette opinion rencontre cependant des contradicteurs. Amédée Durand regardait la direction du vent comme essentiellement horizontale, et disposait, d'après cela, dans ce sens, l'axe de son moulin perfectionné. M. Lechatelier pense que l'habitude du relèvement de cet axe doit sa raison d'être à ce que la tour de maçonnerie, en brisant le vent, isole du courant une masse d'air immobile, dont on a cherché à faire émerger la roue, en la faisant tourner dans un plan incliné qui s'éloigne de la base de cette tour.

[4] Cornet, *Bulletin* de l'Académie royale de Belgique, 2e, XLVII. — F. Brabant, Les variations atmosphériques des mines à grisou (*Annales* des travaux publics de Belgique, XLII).

CHAPITRE XLII

VENTILATION DES MINES

—

§ 1

VOLUME D'AIR

1017 — *Volume d'air.* — Le premier point à envisager, dans la question de la ventilation des mines [1], est la fixation de la quantité d'air qu'il sera nécessaire d'envoyer dans les travaux. Il règne malheureusement un très grand désaccord entre les diverses indications qui ont été fournies à cet égard. Il n'y a pas lieu, d'ailleurs, de s'en étonner, si l'on réfléchit à la multiplicité des influences dont dépend cette donnée fondamentale.

La principale sera le grisou, dans les gîtes sujets à l'invasion de ce gaz funeste. Nous avons vu (n° 1004) que la quantité de cet élément qui se trouve déversée journellement dans la mine peut être considérée, pour un même gisement, comme proportionnelle au tonnage de l'extraction quotidienne, suivant que celle-ci est poussée avec plus ou moins d'activité. C'est, en effet, la base qui a été adoptée dans l'instruction ministérielle de 1872, relative aux mesures de sûreté et à l'aérage [2]. Seulement il est clair que le coefficient de proportionnalité devrait, pour fournir des résultats compa-

[1] Devillez, *Ventilation des mines*, in-8°. — Miller, *Traité du grisou et de la ventilation*, in-8°. — Atkinson, *Treatise on Ventilation*. — W. Fairley, *The Theory and Practice of ventilating Coal Mines*. — Van Nostrand's. *Engineering Magazine*, mars 1882. — Ventilation des tunnels en percement (*CRM*, 1882, 9).

[2] *Annales*, partie administrative, 7e, I, 139. — Arrêté préfectoral (*CRM*, 1884, 50).

rables comme assainissement, varier d'une houillère à une autre, d'après la caractéristique plus ou moins grisouteuse de chacune d'elles. Or, c'est ce qu'il était impossible de préciser dans un document présentant un caractère d'instruction générale. Aussi cette circulaire réclame-t-elle un nombre de *mètres cubes* d'air par *seconde*, variant entre un vingtième et un dixième du nombre de tonnes extraites en vingt-quatre heures ; à quoi il sera sage d'ajouter un excédant de puissance disponible pour un cas pressant. Ce chiffre, qu'il sera nécessaire de forcer pour des conditions exceptionnellement grisouteuses, sera de même insuffisant pour des mines peu productives et d'un réseau très développé. Inversement, il se trouvera trop élevé pour une production forte et concentrée.

En Belgique, on descend à la proportion du trentième [1]. L'Administration y intervient jusque dans le détail, pour régler le nombre de tailles qui peuvent être ouvertes sur un même courant d'air [2], suivant le degré d'infection grisouteuse de chaque charbonnage. Ce nombre varie depuis une douzaine de tailles, d'une vingtaine de mètres chacune, pour des mines peu grisouteuses, jusqu'à 4 ou 5 seulement, dans un grand nombre de cas, et même 2 ou 3, avec des conditions pires encore. Si les tailles présentent une plus grande longueur, on réduit leur nombre en raison inverse de cette longueur. Lorsque le gîte présente le caractère redoutable des dégagements instantanés, on se préoccupe, en même temps que du total de la surface ouverte, de la vitesse normale d'avancement résultant de l'activité de l'abatage [3]. Cette allure est, en général, de $1^m,20$ à $1^m,50$ par poste, dans les mines grisouteuses, suivant le degré de concentration du personnel sur le périmètre du front de taille. Pour les cas extrêmes, on le réduit encore à moitié, en donnant, dans les maintenages, deux gradins à chaque ouvrier au lieu d'un seul.

1018 — On a également adopté d'autres bases d'évaluation que

(1) Demanet, *Traité d'exploitation*, II, 86.
(2) *PA*, Belgique, 34.
(3) *PA*, Belgique, 35.

celle du tonnage de l'extraction. M. Schondorf admet [1] que l'aérage doit être suffisant, pour que la perte en oxygène ne dépasse pas 1,5 %; le développement d'acide carbonique 0,5 %; et celui d'hydrogène carboné 0,6 %. Il suppose, d'ailleurs, qu'un homme absorbe avec sa lampe 50,5 litres d'*oxygène* par *heure*, en dégageant 38 litres d'acide carbonique; tandis qu'un cheval absorbe 100 litres d'oxygène, et développe 90 litres d'acide carbonique.

Callon réclame [2] 12,5 litres d'*air* par *minute* pour l'homme, et le triple pour le cheval.

M. Demanet indique pratiquement [3] 25 mètres cubes par homme et par heure, dont 14 pour l'ouvrier, 7 pour sa lampe, et 4 pour combattre les miasmes. Il adopte encore le triple pour un cheval.

M. T. Wills demande [4], par homme et par minute 2^{m3},800 dont 0^{m3},013 pour la respiration, et le reste pour des causes accessoires.

Le général Morin indique, pour la ventilation d'une chambre fermée, un renouvellement de 100 mètres par cubes par heure et par personne.

La compagnie de Blanzy [5] envoie 80 litres d'air, par seconde et par ouvrier, dans les puits à grisou.

Une règle assez généralement admise en Belgique recommande, pour chaque ouvrier du poste le plus occupé, le chiffre de 30 à 50 litres passant réellement au chantier. Cette quantité est ordinairement dépassée.

Le tableau suivant présente encore, à cet égard, des moyennes intéressantes, qui sont exprimées en mètres cubes par seconde.

(1) Recherches sur l'aérage des houillères (*Zeitschrift BHS*, XXIV, 73).
(2) *Cours d'exploitation des mines*, II, 410.
(3) *Cours d'exploitation des mines de houille*, II, 85.
(4) *Bull. Soc. d'enc.*, 3e, VII, 139.
(5) Rapport adressé par la Compagnie de Blanzy à la Commission du grisou. Paris, 1881, chez Chaix, page 7.

RÉGIONS	PAR OUVRIER				PAR TONNE				PAR HECTARE	
	NOMBRE DE MINES	MINIMUM	MOYENNE	MAXIMUM	NOMBRE DE MINES	MINIMUM	MOYENNE	MAXIMUM	NOMBRE DE MINES	MOYENNE
Westphalie (1)	35	»	0,0285	»	35	»	0,0172	»	35	0,1020
Angleterre (2)	18	0,1010	0,1860	0,3320	24	0,0307	0,0986	0,2023	»	»
Belgique (3)	9	0,0370	0,0890	0,1550	15	0,0820	0,0894	0,1660	»	»
Brückenberg (Saxe) (4). .	1	»	0,1510	»	1	»	0,0603	»	»	»

(1) Voisin (*Annales*, 7e, IV, 270). | (2) *PA*, Angleterre, 224. | (3) *PA*, Belgique 225. | (4) *PA*, Allemagne, 48.

Les nombres relatifs aux mines anglaises sont énormes en eux-mêmes. Mais il est nécessaire de ne pas perdre de vue qu'en raison du mode d'exploitation, qui laisse de grands vides sans remblais, avec des courants à peine dirigés, il n'arrive aux chantiers qu'une petite partie de l'air appelé dans le puits (nº 1046, note). Il existe des exemples véritablement extraordinaires de puissance d'aérage dans les houillères de la Grande-Bretagne. On envoie, par seconde, 108 mètres cubes à Oaks-Colliery, et 125 à Pemberton, avec des ventilateurs; avec des foyers : 165 mètres cubes à Murton, et 170 à Seaham. Or ce dernier chiffre représente 14688000 mètres cubes, c'est-à-dire environ 19000 tonnes d'air, dans les 24 heures.

1019 — *Brassage.* — Il est un point sur lequel on ne saurait trop insister, et sans lequel les chiffres précédents auraient bien peu de valeur. C'est la nécessité de bien brasser le courant [1]. En effet, dans une galerie, comme dans le lit d'une rivière, le fluide manifeste une tendance marquée à cheminer par filets parallèles, qui ne se mélangent que difficilement par diffusion. On peut ainsi, à côté d'une masse d'air à peine contaminée, rencontrer un mélange à la proportion explosive. M. Guibal propose, dans ce but, de multiplier des portes d'aérage convenablement disposées.

Cette question présente d'autant plus de gravité, que l'on voit quelquefois des masses considérables de mauvais air rejetées d'un seul coup dans la circulation, par la chute d'une nappe d'eau dans le puits, ou, surtout, par la tombée subite d'une portion du toit dans les vieux travaux abandonnés. C'est ainsi qu'à Mount-Osborne, près de Barnsley, un éboulement effectué sur un espace de 45 mètres sur 55, a déplacé d'un seul coup 45000 mètres cubes d'air [2]. Un phénomène semblable survenu à Bességes, par la chute d'une certaine quantité d'eau, a chassé de son repaire une masse de mauvais air qui, après avoir cheminé très loin sans se mélanger

[1] Fysen rapporte, en 1696, que les ouvriers chassaient le gaz à coups de bâton et de verges. D'après Agricola, c'était en agitant des toiles et des habits. On retrouve, jusque dans Pline, l'indication de ces coutumes, que certains mineurs pratiquent encore, en dépit des règlements qui proscrivent ces pratiques, par la crainte de faire sortir la flamme des lampes.

[2] *Transact. NEI*, XVII, 85.

au courant général, est venue s'enflammer sur un foyer, à l'orifice du puits (1).

1020 — *Reproche adressé à un aérage trop vif.* — Une manière de voir nouvelle s'est produite depuis peu, et l'on ne doit pas dissimuler qu'elle a reçu l'appui d'ingénieurs considérables (2). On accuse une ventilation *trop active* d'être la principale cause de la très grande extension qu'ont prise parfois, dans ces derniers temps, les coups de feu, autrefois confinés dans un espace plus restreint. Un vieil adage des houilleurs de Saint-Étienne : *le grisou est mangé par la force,* signifiait que la puissance destructive de l'hydrogène carboné est paralysée par la désoxydation de l'atmosphère (n° 983). On comprend, en effet, que si l'on ne va pas jusqu'à noyer le gaz dans une quantité d'air suffisante pour abaisser sa proportion au-dessous du point explosif, tout ce qu'on ajoute d'oxygène devient précisément un aliment pour sa combustion.

De plus, un demi-aérage a pour effet de déplacer le grisou, qui aurait pu, sans cela, rester à l'écart à l'état inoffensif, et de le faire entrer en scène, sans désarmer sa puissance par un excès d'air.

Enfin l'on reproche à un courant trop vif de soulever les poussières, dont nous signalerons plus loin le danger, au lieu de les laisser inertes sur le sol; d'où la formule suivante, qui répond à cette préoccupation : *encore plus d'eau, en même temps que encore plus d'air* (3).

1021 — Il est nécessaire de réagir contre cette tendance, et d'insister sur cet axiome que, sans constituer le seul préservatif qu'il y ait lieu de mettre en œuvre contre les dangers du grisou, l'envoi d'un excès d'air *capable de noyer ce gaz* reste certainement, de tous, le plus efficace. On peut dire sans hésitation qu'il est le dernier, avec le treillis de sûreté, auquel il serait permis de renoncer. Pour donner plus de force à cette pensée, plusieurs ingénieurs, se

(1) Parran (*Bull. min.*, 1re, V, 331).
(2) *Bull. min.*, 2e, VI, 841. — *CRM*, 1879, III. — *Journal officiel*, 26 février 1876.
(3) *Bull. min.*, 2e, VII, 679.

rencontrant dans la même formule, ont été jusqu'à dire que, sans cesser, bien entendu, d'employer en réalité la lampe de sûreté, il faudrait amener les choses au point qu'il fût possible de circuler dans toute la mine à feu nu.

Il est, du reste, facile de resserrer dans les limites convenables les inconvénients signalés ci-dessus. A la vérité, l'excès d'aérage risque de faire sortir les flammes des tamis, mais il suffit, à cet égard, de réduire la vitesse, en donnant aux galeries des sections suffisantes, et répartissant la masse totale entre plusieurs circuits distincts.

Il y a d'ailleurs [1] une considération péremptoire qui nécessite un aérage vif, c'est la respiration des hommes. L'air, pour être respirable, doit contenir au moins 15 °/₀ d'oxygène. L'atmosphère naturelle en renferme 21 °/₀. On trouvera donc prudent de ne pas descendre au-dessous de 18 °/₀, ce qui représente une perte de 1/7. Il faut, d'après cela, pour n'envisager en ce moment que le grisou parmi les diverses causes de viciation, que le maximum x de gaz qui vient se mélanger à l'unité de volume d'air, satisfasse à la condition :

$$0{,}21 = 0{,}18\,(1 + x),$$

d'où l'on déduit :

$$x = \frac{1}{6}.$$

En un mot, il faut envoyer au moins 6 fois plus d'air qu'il ne se dégage de grisou. Comme, du reste, le mélange ainsi formé serait très voisin de la proportion du maximum de danger, on ne saurait s'en tenir là. Il faut donc forcer encore davantage l'envoi d'air, et même très largement, afin de tenir compte des défauts d'homogénéité de la masse, qui se trouveraient précisément aggravés avec l'aérage restreint. Si l'on méconnaissait ce point de vue, l'on risquerait, en ramenant l'ancienne *anémie des mineurs*, aujourd'hui refoulée en grande partie, de provoquer une mortalité comparable, ou supérieure, à celle qui est due aux coups de feu.

[1] Vicaire (*Pièces annexées* aux procès-verbaux de la Commission du grisou, p. 13 à 21).

§ 2

DÉPRESSION

1022 — *Dépression.* — On appelle ***dépression motrice*** l'excès de tension que présente l'air de l'extérieur à l'intérieur, différence qui détermine la mise en mouvement du fluide. Sous ce rapport, il existe un contraste marqué entre les conditions de la métallurgie, qui emploie des quantités d'air assez limitées, et soumises à des tensions importantes, et celles de la ventilation des mines, qui exige au contraire des volumes très considérables, à de très faibles dépressions. Cette dernière sera souvent de quelques centimètres d'*eau*, rarement plus de dix; bien que les moyens mécaniques dont on dispose aujourd'hui permettent, à la rigueur, de doubler ce chiffre, quand cela devient nécessaire.

Cette tension, si l'on cherchait à forcer l'aérage, atteindrait du reste rapidement un maximum, variable d'une mine à l'autre, mais toujours peu élevé, que l'on n'a pas intérêt à franchir. En cherchant à le dépasser, on n'arriverait pratiquement qu'à augmenter les filtrations à travers les remblais([1]). Si donc, quand on s'approche de ce point, le volume d'air qui parvient réellement aux chantiers est encore jugé insuffisant; au lieu de s'obstiner dans cette lutte stérile, il vaut mieux améliorer les conditions intérieures, ce qui peut se faire de deux manières. En premier lieu, il convient de perfectionner l'étanchéité des parois, et, au besoin, de substituer à des murs en pierres sèches, ou aux tailles séparées en deux travées par une cloison de remblai ([2]), des galeries jumelles percées en pleine masse ([3]). On se préoccupera, en second lieu, de diminuer les résistances, qui tendent à élever la dépression nécessaire pour la mise en mouvement de l'air à travers les voies de communication. Mais, pour apprécier clairement cette influence, il nous faut expri-

([1]) Hamal et Schorn (*Annales* des travaux publics de Belgique, XXII).
([2]) Tome I, p. 500.
([3]) Tome I, p. 389.

mer cette dépression en fonction des éléments essentiels du réseau de circulation.

1023 — Nous conviendrons de représenter par h la dépression, exprimée en ***kilogrammes par mètre carré***, ou, ce qui revient au même, en ***millimètres d'eau***.

Elle permet de donner une expression fort simple du travail nécessaire pour engager dans la mine un certain volume d'air. En effet, cette dépression s'exerçant sur la section droite s de la galerie, y développe un effort total égal à hs. En accompagnant ce plan mobile le long d'un déplacement L, elle produit le travail hsL. Or sL représente le volume Q engendré par ce déplacement, qui se remplit d'air appelé du dehors. L'expression devient, d'après cela, hQ, et l'on voit que ***le travail nécessaire pour engager dans les travaux un certain volume d'air est le produit de ce volume par la dépression.***

Appliquons, en particulier, ce résultat au ***débit*** q, c'est-à-dire au volume injecté pendant une seconde ; le travail correspondant sera de même hq. Comme, d'ailleurs, il est développé pendant l'unité de temps, il correspond à la force en chevaux :

$$(1) \qquad \frac{hq}{75},$$

ou, en effectuant :

$$(2) \qquad 0{,}0133\, hq.$$

1024 — Actuellement, pour exprimer h, nous supposerons, en premier lieu, que le réseau à parcourir se compose d'un prisme unique, puits ou galerie, muraillé, de longueur totale l, et dont la section a pour périmètre p. Cette section restant invariable, et s'avançant, dans l'unité de temps, d'une longueur marquée par la vitesse v, engendre, pendant cet intervalle, un cylindre qui a pour volume sv, et qui mesure précisément l'appel d'air q ; d'où l'égalité :

$$(3) \qquad q = sv.$$

Le mouvement étant uniforme, d'après la constance de cette section, la force vive ne subit aucune variation. Le travail moteur est donc égal au travail résistant. Si l'on néglige celui de la pesanteur, ces travaux se réduiront à ce qui concerne, d'un côté, la force motrice, et, de l'autre, le frottement [1]. Comme, du reste, ces travaux sont développés pour un même parcours, leur égalité implique celle des deux forces elles-mêmes. Or l'effort moteur a pour valeur hs. D'autre part, on sait [2] que le frottement est proportionnel à la surface de contact pl du fluide et de la paroi, ainsi qu'au carré v^2 de la vitesse. Il aura donc pour expression $clpv^2$, en désignant par c un coefficient constant convenablement choisi. On aura ainsi définitivement l'équation :

$$(4) \qquad h = c\,\frac{lpv^2}{s}.$$

Si le trajet comprend plusieurs prismes analogues, la pression finale de l'un constitue la pression initiale du suivant, et son excès sur la nouvelle pression finale sert à faire franchir cette seconde travée. On aura donc, par la différence entre les deux pressions extrêmes de tout le parcours, la dépression motrice nécessaire pour faire franchir la totalité du circuit, laquelle sera, en même temps, la somme de toutes les dépressions élémentaires échelonnées en cascades successives.

Si, à cette influence progressive du frottement sur les parois, il s'ajoute des pertes de charges spéciales, dues à l'influence de certains points singuliers : étranglements, coudes, etc., on sait, d'après l'étude spéciale que l'hydraulique fournit de ces phénomènes, que ces pertes de charge sont toutes proportionnelles au carré de la vitesse, de même que l'expression (4).

En somme, on peut se contenter, pour faciliter la discussion générale, d'attribuer par la pensée, pour les valeurs des facteurs l, p, s, v, qui sont variables le long du parcours, des moyennes convenables, et de substituer, comme formule simple, à l'expression

[1] Voy. n° 1028, note.

[2] Haton de la Goupillière (*Traité des Mécanismes*, p. 433).

explicite qui serait la somme des divers termes successifs, la fonction (4), réduite à un seul d'entre eux.

1025 — Il reste seulement à fixer, pour cette hypothèse, la valeur de la constante c. A cet égard, d'Aubuisson admettait, pour le frottement de l'air dans un tuyau proprement dit, le coefficient :

$$c = 0.000\,370,$$

et Navier ([1]) le nombre :

$$c = 0{,}000\,355.$$

La nature inégale et les anfractuosités des mines obligent évidemment à prendre une valeur notablement plus grande. M. Devillez a indiqué ([2]) comme la plus convenable, dans les conditions ordinaires :

$$c = 0{,}001\,800. \qquad (5)$$

M. Atkinson adopte ([3]) une constante dont la valeur, quand on la réduit aux mêmes unités de mesure que les précédentes, correspond à :

$$c = 0{,}004\,100,$$

quantité bien supérieure encore. Inversement, M. Clark ([4]) se rapproche des valeurs de Navier et de d'Aubuisson en admettant :

$$c = 0{,}000\,430.$$

Ces divergences s'expliquent très naturellement par les différences des milieux miniers, dans lesquels ont été effectuées les observations employées pour ces déterminations. Elles sont justement

([1]) Haton de la Goupillière (*Traité des mécanismes*, p. 433).
([2]) Devillez (*Ventilation des mines*, p. 37).
([3]) Atkinson, *Treatise on Ventilation*, p. 60.
([4]) D. K. Clark, *Rules, Tables and Data for mechanical Engineers*.

propres à mettre en évidence le degré de vague qui planera nécessairement sur les calculs faits *a priori*.

Pour de semblables évaluations, nous adopterons le coefficient (5) de M. Devillez. Il y aurait lieu, dans la pratique, de le modifier légèrement, d'une manière, d'ailleurs, assez arbitraire, pour des cas extrêmes et des surfaces particulièrement lisses, ou, au contraire, exceptionnellement accidentées.

1026 — L'équation fondamentale (4) prend une forme avantageuse si, en éliminant la vitesse v à l'aide de l'équation (3), on réduit la valeur de la dépression à de simples éléments géométriques. Il vient ainsi en effet :

$$h = c\,\frac{lpq^2}{s^3}. \tag{6}$$

Si l'on met cette relation sous la forme :

$$\frac{h}{q^2} = c\,\frac{lp}{s^3}, \tag{7}$$

on isole dans le premier membre les éléments arbitraires de la ventilation, dont elle exprime la dépendance mutuelle, et, dans le second, les données immédiates fournies par la constitution de la mine. Cette sorte de *fonction d'aérage* $\frac{q^2}{h}$ prend donc, pour chaque exploitation, une valeur spéciale, résultant de la constitution des travaux. La manière dont l'organisation d'une mine réagit ainsi sur la plus ou moins grande facilité de la ventilation, en exigeant, pour faire circuler un débit donné, une dépression plus ou moins élevée, a été caractérisée par M. Guibal à l'aide d'une expression très heureuse. Il l'appelle le *tempérament de la mine.* En même temps que cette dénomination, il y a lieu de retenir le théorème exprimé par la relation (7), qui consiste en ce que, *pour une mine donnée, la dépression est en raison du* CARRÉ *du débit que l'on y veut faire circuler.*

On en peut conclure immédiatement que *le travail nécessaire pour la ventilation varie en raison du* CUBE *du débit*; car nous avons reconnu (n° 1023) que ce travail est le produit du débit par la dépression. On voit donc avec quelle rapidité devra s'accroître la force en chevaux, quand on entreprendra d'activer l'aérage. En doublant la puissance, on n'augmente que d'un quart le débit, car $\sqrt[3]{2} = 1,259$. Pour doubler le débit lui-même, il faut employer une force huit fois plus grande.

1027 — Quant à la manière dont les éléments de la mine influencent la dépression, elle est maintenant facile à caractériser, d'après le second membre de la relation (7).

Nous voyons d'abord que la dépression, à égalité de débit, sera en raison de la longueur du parcours. Or ce facteur s'impose *a priori*, d'après l'étendue du champ d'exploitation, et le développement plus ou moins grand qu'y doit recevoir le réseau des voies de communication. La question de la ventilation a donc beaucoup plutôt à l'accepter comme une donnée assignée à l'avance, qu'à prétendre le faire modifier, en vue de ses propres facilités. Tout au plus, y a-t-il lieu de réserver en ce moment, pour y revenir plus tard avec les développements nécessaires (n° 1049), l'influence de la subdivision de la longueur totale en un certain nombre de courants indépendants les uns des autres.

C'est donc surtout par les dimensions transversales à donner aux voies de communication, que l'on peut entreprendre d'améliorer les conditions de l'aérage d'un réseau de travaux. A la vérité, en augmentant ces dimensions, on agit à la fois sur le numérateur de l'expression (7) par le facteur p, et sur son dénominateur d'après le facteur s. Mais ces deux influences se font sentir d'une manière très inégale. Supposons, par exemple, que l'on amplifie homothétiquement le profil, quel qu'il soit, qui aura été adopté pour la section; le facteur p augmente alors comme la première puissance, et s comme le carré des dimensions; par conséquent, $\frac{p}{s^3}$ varie en raison inverse de la cinquième puissance du rapport de similitude. On reconnait par là l'énorme influence que prend, dans la question

de l'aérage, la considération de l'étranglement ou de l'élargissement des sections, et à quel point elle ne doit jamais être perdue de vue par l'ingénieur. En doublant le diamètre de la section, on pourra faire circuler le même volume d'air, avec une dépression qui sera théoriquement 32 fois moindre. Comme d'ailleurs $\sqrt[5]{2} = 1{,}149$ il suffit, pour réduire la dépression à moitié, d'augmenter de 15 % les dimensions de la section.

1028 — *Orifice équivalent.* — M. Murgue a introduit dans le problème de l'aérage un élément très important, qui apporte beaucoup de clarté dans ces difficiles questions. Il est destiné à caractériser l'ensemble des résistances, en raison desquelles une mine oppose une difficulté plus ou moins grande à la ventilation [1]. Pour cela. cet ingénieur en ramène la totalité à une seule, d'un type toujours uniforme, et le plus simple de tous : celui de l'orifice en mince paroi. Il appelle *orifice équivalent* d'une mine donnée, ***la section, en mètres carrés, de l'orifice tel que la même dépression y ferait passer, dans le même temps, le même volume d'air que dans la mine.***

Il est facile d'évaluer cet orifice, dont nous représenterons l'aire par a. Si nous acceptons, suivant l'usage, la valeur 0,65 pour le coefficient de contraction de la veine gazeuse, la section contractée sera 0,65 a et, par conséquent (3), le débit aura pour valeur :

$$q = 0{,}65\,av. \tag{8}$$

Pour exprimer le facteur v, nous appliquerons le théorème des forces vives à l'unité de volume d'air [2]. Si ϖ désigne le poids spécifique, sa masse sera $\frac{\varpi}{g}$, et sa demi-force vive $\frac{\varpi v^2}{2g}$. Cette dernière

(1) *Bull. min.*, 2e, II, 445 ; IV, 752 ; IX, 93.

(2) Suivant l'usage universellement adopté, nous raisonnons sur l'air, dans toute cette théorie, comme on le fait dans l'hydraulique pour les liquides incompressibles. En effet, bien que ce fluide possède la faculté de changer, au besoin, de volume et de densité, il n'use pas de cette possibilité dans la question de la ventilation des mines, ou seulement dans une mesure insignifiante, en raison de l'extrême faiblesse des dépressions mises en jeu.

est égale au travail développé, à savoir (n° 1023) le produit du volume par la dépression, ou simplement h. Il vient donc :

$$h = \varpi \frac{v^2}{2g}, \tag{9}$$

$$v = \sqrt{2g \frac{h}{\varpi}}, \tag{10}$$

$$q = 0,65\, a \sqrt{2g \frac{h}{\varpi}}. \tag{11}$$

On a d'ailleurs $g = 9,8088$ et, d'autre part, pour l'air sec à la pression de 76 centimètres de mercure et à la température de la glace fondante : $\varpi_0 = 1^{kg},29$. Mais comme ces conditions abstraites ne sont pas celles des mines, où l'air se trouve à une température un peu supérieure, et imprégné de vapeur d'eau, M. Murgue modifie légèrement le nombre précédent, et adopte comme valeur pratique :

$$\varpi = 1,2. \tag{12}$$

Avec cette hypothèse, la relation (11) devient complètement explicite entre les variables q, h, a, et peut prendre les trois formes suivantes, suivant qu'on la résout par rapport à chacun de ces éléments :

$$q = 2,63\, a \sqrt{h}, \tag{13}$$

$$h = 0,14 \left(\frac{q}{a}\right)^2, \tag{14}$$

$$a = 0,38 \frac{q}{\sqrt{h}}. \tag{15}$$

La formule (15) résout donc la question, et permet d'évaluer l'orifice équivalent a d'une mine donnée, lorsque l'observation directe

aura montré qu'une certaine dépression h y détermine effectivement un écoulement q par seconde.

Nous avons vu d'ailleurs (n° 1023) que le travail t à développer pour faire circuler un volume q, est le produit de ce débit par la dépression h. Il aura donc (éq. 14) pour expression :

$$t = 0{,}14\, \frac{q^3}{a^2}. \tag{16}$$

1029 — M. Murgue a effectué l'évaluation de l'orifice équivalent pour un grand nombre de mines, et en a résumé les résultats dans des tableaux très étendus [1]. Les valeurs qu'il a obtenues oscillent de part et d'autre de 1 mètre carré, et une grande quantité d'entre elles s'écartent peu de ce type très simple. L'auteur de cette intéressante conception prend donc ce nombre comme point de comparaison. Il appelle mines *moyennes* celles dont l'orifice équivalent s'éloigne peu de 1 mètre carré, mines *larges* celles dont l'orifice est notablement supérieur, et mines *étroites* celles qui ont un orifice sensiblement moindre.

En général, les mines anglaises sont très larges, en raison des excellentes conditions que la nature a départies à ces exploitations, et de celles où les placent leurs méthodes d'exploitation : couches moyennes, bien réglées; déhouillement sans remblai, le foudroyage suivant en général l'avancement à une distance très notable. L'orifice équivalent s'y est élevé jusqu'à 6 mètres carrés, avec une moyenne de 2 à 3 mètres carrés.

Les mines belges, au contraire, sont très étroites, d'après les conditions absolument inverses qui les régissent : couches minces, et méthodes de remblai. Le minimum a été trouvé, en 1844, au Grand Hornu, égal à $0^{m^2},166$; il s'est, du reste, bien amélioré depuis lors. La moyenne de toutes les mesures prises est de $0^{m^2},8$.

Les houillères françaises ont des orifices équivalents très variables, attendu que les circonstances géologiques y sont éminemment différentes d'une région à l'autre, et que les méthodes s'y diversifient

(1) *Bull. min.*, 2ᵉ, IV, 754; IX, 46, 65.

en raison même de ces modifications. On observe de plus une amélioration progressive dans beaucoup de mines, pour lesquelles on s'est appliqué avec persévérance à diminuer les résistances [1].

§ 3

VITESSE

1030 — La vitesse est reliée au débit par la formule (3) :

$$v = \frac{q}{s}. \quad (17)$$

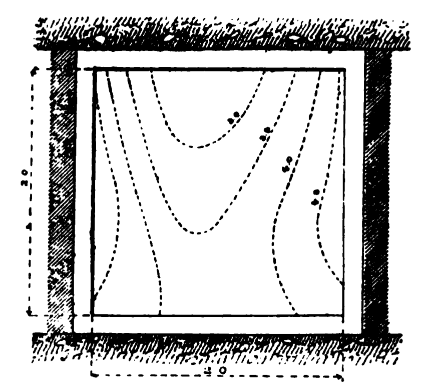
Il est bon qu'elle ne varie pas entre des limites très étendues. La valeur la plus convenable paraît être $0^m,60$; et l'on ne doit pas dépasser $1^m,20$ par seconde. Trop faible, cette vitesse ne déterminerait pas un entraînement certain des mauvais gaz. Trop grande, elle tend à faire sortir la flamme des lampes de leur treillis protecteur, à soulever les poussières, et à nuire aux hommes en transpiration.

Lorsque le débit q a été déterminé directement par les nécessités de l'aérage, on dispose de la section des galeries pour restreindre, d'après l'équation (17), la vitesse au-dessous du maximum qu'elle ne doit pas dépasser. On voit quelle variera en raison inverse du carré des dimensions de la galerie, si l'on amplifie homothétiquement la section.

1031 — Il est très nécessaire de ne pas oublier que la masse fluide ne s'avance pas en réalité tout d'une pièce, comme nous l'avons supposé pour simplifier les raisonnements précédents. Elle chemine, en quelque sorte, par tubes concentriques. En d'autres termes, la vitesse n'a pas la même valeur dans tous les points de la section; et l'on peut répartir l'étendue de cette dernière en

[1] C'est ainsi que la moyenne des orifices équivalents s'est élevée en Belgique, dans l'espace de 25 ans, de $0^{m2},57$ à $0^{m2},80$.

courbes telles, que, pour tous les points de chacune d'elles, cette vitesse garde une valeur uniforme, variable de l'une à l'autre.



·Fig. 645. Courbes d'égale vitesse.

Des observations directes ont été faites par MM. Aguillon, Fumat et Murgue ([1]) pour déterminer ces courbes d'égale vitesse. Les figures 645 à 650 en représentent un certain nombre de types.

Pour faciliter les jaugeages, M. Schondorf a cherché s'il existe, au milieu de cette variation, un point constant, qui ait pour vitesse la moyenne déterminée par l'équation (2); de telle sorte que le débit puisse s'évaluer à l'aide d'une seule mesure tachométrique prise en ce point. Il a cru pouvoir énoncer la règle suivante, qui remplit ce but d'une manière équivalente ([2]) : *Dans une section* RECTANGULAIRE, *la vitesse moyenne est le produit de celle que l'on aurait observée au centre du rectangle, par les coefficients* 0,75 ; 0,80 ; 0,85 ; *suivant que la galerie est boisée, unie ou maçonnée.*

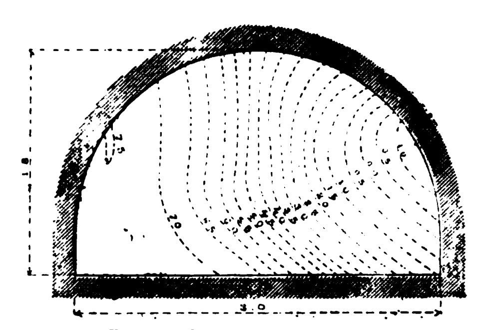


Fig. 646. Courbes d'égale vitesse.

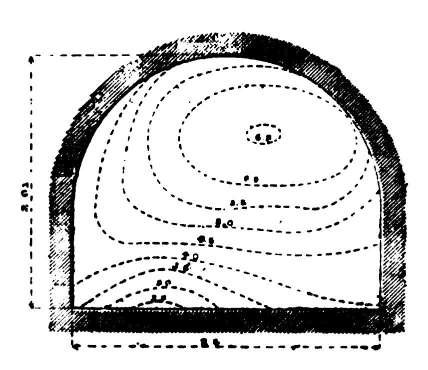


Fig. 647. Courbes d'égale vitesse.

([1]) *Bull. min.*, 2e, VII, 738. — Aguillon, *Pièces annexées* aux procès-verbaux de la Commission du grisou, 2e fascic., p. 129.

([2]) *Zeitschrift BHS*, XXIV, 120.

Les expériences de M. Murgue n'ont pas semblé justifier cet énoncé. Elles lui ont toutefois permis de procurer une facilité ana-

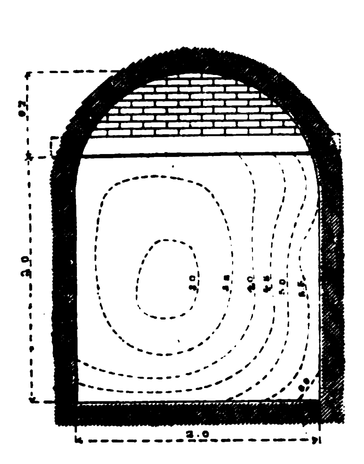


Fig. 648. Courbes d'égale vitesse.

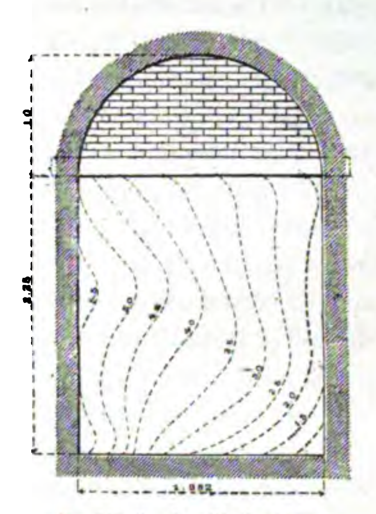


Fig. 649. Courbes d'égale vitesse.

logue pour le jaugeage, en formulant le théorème suivant : *Quand le débit vient à varier, toutes les vitesses augmentent proportionnellement dans une même section, quelle qu'elle soit.* De cette manière, si, par une étude faite à loisir en un grand nombre de points d'une certaine section, on arrive à déterminer avec précision l'emplacement de la moyenne, il suffira, en tous temps, d'y effectuer une mesure unique, en un point toujours le même, pour apprécier les variations que subit cette moyenne.

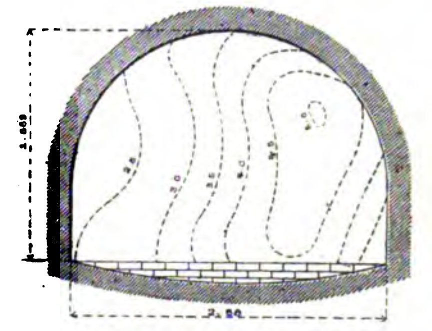


Fig. 650. Courbes d'égale vitesse.

1032 — On ne devra pas oublier, quand on évalue *a priori* l'aire de la section capable de maintenir la vitesse entre des limites données, que ce n'est pas seulement à la moyenne qu'il convient

de s'attacher pour les considérations de prudence, mais surtout au maximum. C'est lui qui constitue la véritable caractéristique du danger à l'égard des lampes.

Ces considérations prennent surtout de la gravité dans les retours d'air, toujours plus contaminés que les autres galeries. On peut les considérer comme déjà périlleux à 2 ou 3 °/₀ de grisou, proportion qu'il n'y faut dépasser sous aucun prétexte.

Cette même préoccupation doit encore régler la distance à laquelle le remblai suivra le front de taille. Il est bon, à la vérité, de réduire autant que possible cette distance, au point de vue du soutènement ; mais il importe, d'un autre côté, d'éviter soigneusement l'étranglement, qui aurait pour effet d'augmenter abusivement la vitesse, précisément sur le point où se trouvent les lampes, où l'on tire les coups de mine, et où se dégage le grisou.

On doit, pour le même motif, proscrire encore plus strictement les accumulations de charbon au front de taille, car ils produiraient le même inconvénient, sans aucune compensation utile.

1033 — L'irrégularité de la répartition des vitesses, accusée par les diagrammes, que l'on voit se dénaturer complètement quand on passe d'une section à une autre très rapprochée, mais différente de forme, tend à souligner l'importance de soigner les parois en y évitant les anfractuosités ; puisqu'on ne peut compter, pour les laver, que sur une vitesse très réduite, et non sur la valeur moyenne, encore moins sur le maximum. C'est pourtant sur ce dernier que l'on se repose souvent, car c'est lui qui se manifeste le plus directement par la sensation de fraîcheur au visage, par l'inclinaison de la flamme, ou par les mesures tachométriques, si l'on n'apporte pas, dans ces évaluations, toutes les précautions dont nous avons parlé, afin qu'elles fournissent une véritable moyenne.

Remarquons également, avec M. Lechatelier, qu'il se produit, derrière ces anfractuosités, des remous que le courant en détache souvent, et qu'il emporte alors avec lui dans sa translation d'ensemble, comme on l'observe facilement dans le lit des rivières, en aval des piles de ponts, ou encore au milieu des coups de vent qui

soulèvent la poussière du sol. Or, si nous désignons par u la vitesse de gyration à la circonférence, et par v celle de la translation, la vitesse absolue sera, d'un côté du tourbillon ainsi entraîné $v+u$, et de l'autre $v-u$. L'écart $2u$ de ces deux valeurs constitue une quantité très appréciable, dont il y a lieu de tenir compte, pour les effets que l'on peut redouter d'une trop grande vitesse.

J'appellerai enfin l'attention sur cette circonstance, que le mouvement des véhicules peut apporter des perturbations analogues. On en remarque par exemple à Montrambert et à la Béraudière, dans les régions voisines des puits jumeaux pour lesquels la cage, bien que munie d'un plancher à claires-voies, fait, dans une certaine mesure, l'effet d'un piston (n° 813). Il en est de même de la galerie des locomotives de Cessous [1], où l'on voit le volume d'air varier d'un dixième, suivant le sens de la marche des trains [2].

§ 4

APPAREILS DE MESURE

1034 — *Anémomètres.* — Il est extrêmement essentiel de pouvoir se procurer avec facilité les valeurs des trois données fondamentales qui viennent de nous occuper : le volume, la dépression, la vitesse. Elles se réduisent, au fond, à deux, d'après l'équation (3) qui ramène l'évaluation du volume à celle de la vitesse. De là, en réalité, deux classes d'appareils : les *anémomètres*, destinés aux mesures tachométriques, et les *manomètres*, à l'appréciation de la dépression.

Il ne faudra pas perdre de vue que pour obtenir de ces instruments un bon service, on les devra choisir à la fois simples et robustes, en sacrifiant, au besoin, une partie de la précision, à l'impossibilité pratique de transporter des organes trop fragiles au milieu des difficultés de la circulation souterraine, et de les con-

[1] Tome I, p. 706.
[2] *Bull. min.*, 2e, VII, 748.

fier souvent à des mains plus habituées aux travaux de force, qu'au maniement d'appareils délicats[1].

1035 — Pour mesurer la vitesse d'un courant d'air, on peut avoir recours à deux moyens principaux.

Le premier est analogue au flotteur, qu'on lance sur un cours d'eau de mouvement uniforme. En mesurant la longueur parcourue par ce flotteur, et le temps écoulé entre ses passages aux deux extrémités de ce trajet, on détermine, par le quotient de ces deux éléments, la vitesse du parcours. Lorsqu'il s'agit d'un courant d'air, on emploie comme flotteur une substance odorante, qui avertit très nettement de son arrivée. On a proposé, à cet égard, des ampoules d'éther préparées à l'avance. En brisant l'une d'elles sur une pelle avec un marteau à la station d'amont, on informe, par le bruit, le stationnaire d'aval de l'instant du départ. Il observe dès lors une montre à secondes, jusqu'à l'arrivée de la bulle odorante. On emploie, plus simplement encore, la combustion de la poudre, si la mine est exempte de grisou. On en allume une petite quantité sur une pelle, et sa déflagration sert de signal à l'observateur d'aval. On peut aussi avoir recours à l'amadou, dont l'odeur est très caractérisée[2].

1036 — La seconde méthode consiste dans l'emploi d'appareils tachométriques proprement dits. Outre que certains d'entre eux permettent d'atteindre un degré de précision très supérieur à celui que fournit le moyen précédent, ils présentent cet avantage que l'on peut ainsi mesurer la vitesse en divers points de la section (n° 1031).

Ces appareils, quels qu'ils soient, auront toujours besoin d'un tarage qui permette d'interpréter, pour en déduire la valeur numérique de la vitesse en mètres par seconde, les indications concrètes qu'ils fournissent : angles, nombres de tours, poids, dénivellations

(1) *Rapport* de M. Aguillon à la Commission du grisou sur les appareils de contrôle et de surveillance de l'aérage des mines (*Annales*, 7e, XX, 248). — *Rapport* de MM. Dia et Durant (*Rev. univ. d. m. et u.*, XL, 272).

(2) Murgue (*Bull. min.*, 2e, II, 475).

liquides, etc. Le procédé ordinairement suivi pour cela jusqu'ici, consistait à substituer au mouvement absolu un mouvement relatif, en imprimant à l'appareil une vitesse mesurable dans un air en repos, effectuant la lecture, et enregistrant la vitesse qu'elle représente. Mais une remarque très importante, due à MM. Aguillon, Fumat et Murgue (¹), a montré que toutes les anciennes évaluations ainsi obtenues sont trop élevées.

On sait, en effet, depuis du Buat, en ce qui concerne les liquides, qu'il existe une notable inégalité dans le développement de la *proue fluide* adhérente à un corps solide plongé dans l'eau, suivant que le milieu mobile vient se briser contre cet obstacle fixe, ou que ce dernier fend, en raison de son mouvement propre, un bain stagnant. De cette variabilité, suit naturellement un écart dans la valeur de l'action exercée sur l'obstacle, laquelle forme le point de départ des mesures enregistrées.

Il serait donc désirable que l'on pût graduer directement quelques appareils délicats, dans des courants de vitesse connue, tels que ceux que l'on détermine, par exemple, au moyen d'aspirateurs calibrés, à écoulement d'eau s'effectuant sous une charge constante. Ces instruments-étalons serviraient ensuite à former, par comparaison, les échelles des appareils plus ordinaires.

1037 — Quant au principe fondamental sur lequel repose la construction de ces anémomètres, on en peut distinguer trois, à savoir : le dérangement de l'équilibre d'un solide, la rotation d'un moulinet, et la dépression d'un liquide.

Le dérangement d'équilibre stable, produit par l'action du courant sur un corps solide, comporte lui-même deux modes distincts, suivant que la force antagoniste qui maintient ce dernier est la pesanteur ou l'élasticité.

Le premier système se trouve réalisé dans l'anémomètre de Dickinson (fig. 651). Cet appareil (²) consiste en un petit volet très léger, ou une balle de sureau suspendue à un fil, et renouvelée de temps en temps pour éviter qu'elle ne s'alourdisse par l'humi-

(¹) *Bull. min.*, 2ᵉ, VII, 504. — *CRM*, octobre 1877.
(²) *Œsterreichische Zeitschrift für Berg-und Hüttenwesen*, 1870, p. 18.

dité. Ces corps se tiennent dans une position verticale quand l'air est en repos, et ils s'en écartent plus ou moins suivant la vitesse du courant. On apprécie la déviation à l'aide d'un arc gradué, que l'on installe lui-même au moyen d'un fil à plomb, assez dense pour n'éprouver, en ce qui le concerne, aucune déviation. L'inconvénient de cet instrument réside dans sa grande instabilité, car les variations de la vitesse le maintiennent dans une agitation perpétuelle.

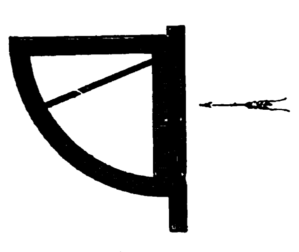


Fig. 651.
Anémomètre de Dickinson.

M. l'ingénieur des mines Lechatelier a écarté cette difficulté [1] en employant l'appareil bifilaire, en même temps qu'il amortit les oscillations par l'immersion du pendule dans un bain liquide.

M. l'ingénieur en chef des mines Vicaire [2] a disposé un anémomètre à maxima et à minima qui, sans avoir pour but de fournir à chaque instant la valeur de la vitesse, indique seulement qu'elle se maintient entre deux limites assignées, ou avertit, par une sonnerie électrique, qu'elle vient d'en sortir. Il se compose d'une palette, dont la tige peut osciller autour d'une arête de suspension. Elle reste collée contre un butoir, tant que la vitesse est supérieure à une certaine valeur, et chavire, au moment où la rapidité devient insuffisante. Un circuit électrique se trouve alors fermé, et fait fonctionner une sonnerie, jusqu'à ce que l'allure redevienne capable de relever la palette.

Quant à l'emploi de l'élasticité comme force antagoniste, M. Lechatelier le fait intervenir au moyen d'une feuille de papier, prise dans une pince verticale, et fléchie par le courant sous un angle que l'on apprécie au moyen d'un arc gradué [3].

(1) Lechatelier (*Pièces annexées* aux procès-verbaux de la Commission du grisou, 2e fascic., p. 111).

(2) On peut encore citer, dans cet ordre d'idées, l'anémomètre Caweley (John Hedley, *Traité pratique de l'exploitation des mines de houille*, p. 76).

(3) Lechatelier (*Pièces annexées* aux procès-verbaux de la Commission du grisou, 2e fascic., p. 117).

1038 — Les moulinets anémométriques dérivent tous, plus ou moins directement, de celui qui a été imaginé par Woltmann pour les liquides. Combes, le premier ([1]), l'a transformé en un appareil assez léger et assez délicat pour enregistrer les mouvements de l'air. Un grand nombre d'ingénieurs et de constructeurs l'ont successivement modifié ([2]). L'un des types le plus employés est l'anémomètre de Biram (fig. 652).



Fig. 652
Anémomètre de Biram.

L'organe essentiel de ces divers mécanismes reproduit, en miniature, la roue des moulins à vent. Sous l'impulsion du courant, l'arbre tournant prend une vitesse croissante, jusqu'à ce qu'il s'établisse un équilibre entre la force motrice, variable avec la vitesse de l'air, et les résistances passives que cette rotation met en jeu. Un compteur sert à totaliser le nombre de tours effectués pendant un intervalle de temps que l'on mesure d'autre part. Il est important de dégager les indications, d'une part, de la période de mise en train qui s'opère avec une vitesse croissante, et aussi de celle d'arrêt, pendant laquelle l'allure se ralentit progressivement. A cet effet, le compteur est commandé par un embrayage, qui permet de ne le faire entrer en jeu qu'au moment où la vitesse de régime est régulièrement établie; on supprime de même, à la fin, sa connexion avec la roue, avant d'arrêter cette dernière.

L'observation a montré que la vitesse v est reliée au nombre de tours n par une formule linéaire :

$$v = \alpha + \beta n,$$

dont les constantes α et β sont fournies, pour chaque instrument,

([1]) *Annales*, 3e, XIII, 103. — *CRM*, mars 1873.
([2]) Arson, Bianchi, Buis et Sombart, Buxton, Casartelli, Casella, Davy, Devillez, Fuss, Hardy, Kallstenius, Leslie, Michel, du Moncel, Morin, Neumann, Robinson, Van Ecke (*CRM*, 1873, mars; 1877, octobre, 3; novembre, 16. — *Transact. NEI*, X, 207, 216, 233, 238, 239. — Ponson, Supplém. II, 1).

par un tarage direct. Les observations ne sont du reste praticables qu'à partir d'un minimum de vitesse qui varie, suivant les soins apportés aux opérations, entre $0^m,10$ et $0^m,40$ par seconde.

Les anémomètres à moulinet se prêtent moins facilement que ceux de la première catégorie (n° 1037), à mettre rapidement en évidence les variations accidentelles du régime. Leur mode d'action suppose en effet l'influence prolongée d'une vitesse, dont ils ne peuvent accuser que la valeur moyenne. Cette circonstance constitue tantôt un avantage, tantôt un inconvénient, suivant le genre de recherches que l'on a en vue.

1039 — Le troisième principe consiste dans l'emploi du tube de Venturi, sous la forme perfectionnée d'ajutage convergent-divergent. On sait qu'il se produit dans son étranglement une succion, ou dépression, proportionnelle à la charge motrice, c'est-à-dire au carré de la vitesse.

M. Bourdon a eu l'idée très importante [1] de multiplier ces effets dans un rapport, qui pourra être, en théorie, aussi grand qu'on le voudra. Il lui suffit pour cela d'emboîter plusieurs tubes semblables, et de dimensions décroissantes, les uns dans les autres, de manière que chacun d'eux débouche dans la section d'étranglement de celui qui l'enveloppe (fig. 653). On comprend qu'avec ce



Fig. 653. Batterie d'ajutages convergents-divergents. Système Bourdon.

dispositif, la pression diminue, d'après le principe précédent, au fur et à mesure que l'on remonte, par la pensée, de l'extérieur à l'étranglement du grand tuyau, puis de là dans l'étranglement du second, et enfin dans celui du troisième. Pour des vitesses de $1^m,50$

[1] Bourdon (*Pièces annexées* aux procès-verbaux de la Commission du grisou, 2e fascic., 62). — Haton de la Goupillière (*Bull. Soc. d'enc.*, 3e, IX, 373).

à 2 mètres et une batterie de trois ajutages, la dépression est de 30 à 40 fois supérieure à celle que fournirait le simple tube de Pitot.

M. l'ingénieur des mines Lechatelier a proposé l'emploi de cet appareil dans les mines, et a augmenté encore l'exactitude de ses indications [1], en inclinant sur l'horizon le tuyau dans lequel s'élève l'eau, dont la dénivellation mesure le degré de succion. De cette manière, son déplacement affecte un plus long parcours pour un

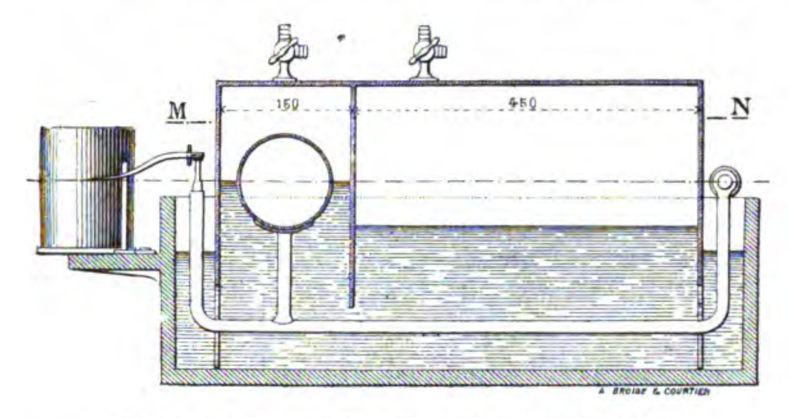


Fig. 654. Indicateur différentiel Murgue (coupe verticale suivant l'axe).

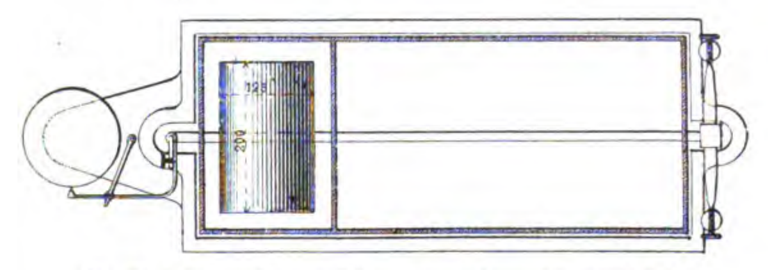


Fig. 655. Indicateur différentiel Murgue (coupe horizontale suivant M N).

même changement de niveau, ce qui en rend l'appréciation plus facile.

M. Murgue s'est servi de cet appareil, avec deux ajutages concentriques, dans les mines de Bessèges [2]. Il a trouvé que la vitesse

(1) Lechatelier (*Pièces annexées* aux procès-verbaux de la Commission du grisou, 1er fascic., 146).

(2) Aguillon (*Ibidem*, 2e fascic., 134, 140). — *CRM*, 1880, 120.

se relie à la dénivellation h par une équation de la forme :

$$v = A + B\sqrt{h},$$

dans laquelle les constantes A et B sont fournies par un tarage direct.

Ce même ingénieur a pris également l'organe en question comme base d'un enregistrement continu de la vitesse, et, par suite, du volume d'air envoyé dans les travaux (fig. 654 et 655). Un flotteur obéit aux variations de la différence de niveau que produit la succion, et porte un style, qui trace un graphique sur un cylindre actionné par un mouvement d'horlogerie.

1040 — *Manomètres.* — Les appareils manométriques employés dans l'industrie, ou dans les laboratoires, sont aujourd'hui très nombreux, mais tous ne sauraient convenir indistinctement, pour la mesure des faibles dépressions qui caractérisent l'atmosphère des mines.

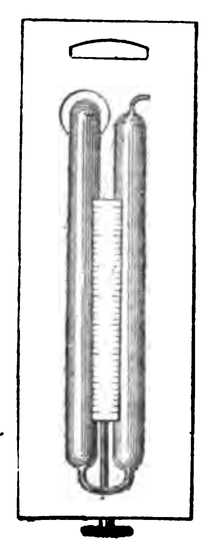


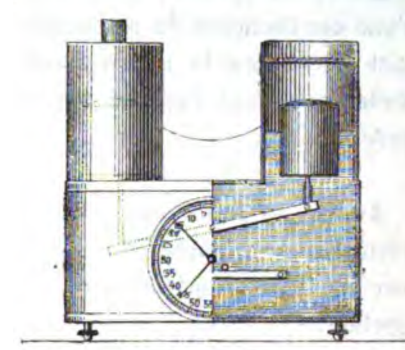
Fig. 656. Manomètre à réglette mobile.

Je citerai d'abord [1] le *manomètre à réglette mobile* (fig. 656). L'une des branches du tube en U est effilée et ouverte au jour. L'autre communique avec l'intérieur, par l'intermédiaire d'un raccord en caoutchouc et d'un tube de cuivre. Pour faciliter la mesure de la dénivellation, l'on peut, à l'aide d'une vis de rappel, monter ou descendre la règle graduée, de manière à faire affleurer son zéro au niveau inférieur, afin de n'avoir qu'une seule lecture à effectuer dans le plan supérieur. Un petit niveau à bulle permet d'assurer la verticalité de l'appareil.

Le *manomètre à aiguille* de M. Ochwadt (fig. 657) emploie deux flotteurs, dont la dénivellation fait basculer un levier. Celui-ci commande une roue dentée, qui engrène avec le pignon d'une

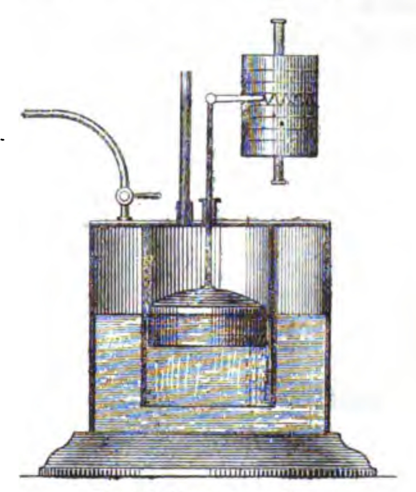
[1] Aguillon (*Pièces annexées* aux procès-verbaux de la Commission du grisou, 2e fascic., 145).

aiguille équilibrée. Les indications que fournit cette dernière sont visibles à distance, ce qui est avantageux pour le mécanicien du ventilateur.


Fig. 657. Manomètre Ochwadt.

Le *mouchard* de Mons, perfectionné par M. Touneau, consiste en un flotteur (fig. 658), dont le niveau varie avec la dépression du liquide, et qui porte un style mobile devant un cylindre tournant.

M. Lechatelier a proposé un *manomètre à ménisque* d'une extraordinaire sensibilité, destiné à apprécier un millième de millimètre (¹). Déjà M. Renou employait, pour saisir le contact précis d'un plan d'eau avec une pointe métallique, le jeu de lumière que produit la courbure du ménisque subitement formé par la capillarité, à l'instant où l'on arrive à la coïncidence. M. Lechatelier substitue à cette pointe une parcelle de cheveu, qu'il maintient plongée dans l'eau pendant l'intervalle des observations. De plus, il éclaire artificiellement, et de la manière la plus favorable, le ménisque indicateur. La très grande délicatesse de ce procédé tient à la disproportion qui existe entre les dimensions horizontale et verticale du ménisque, de telle sorte que la tache est facilement appréciable par son diamètre, tandis que la flèche de sa courbure échapperait à


Fig. 658. Mouchard de Mons.

(¹) *Pièces annexées* aux procès-verbaux de la Commission du grisou, 2ᵉ fascic., 106.

toute mesure directe. Pour évaluer la dépression à l'aide de cet artifice, on réduit cette mesure à celle du volume d'eau qu'il faut enlever, ou ajouter, pour maintenir invariable le niveau dans l'une des branches du manomètre. A cet effet, on ramène au contact du cheveu la masse liquide, au moyen d'une vis micrométrique, dont l'emploi procure encore un redoublement de précision.

1041 — *Registres, plans, surveillants d'aérage.* — Les résultats de l'emploi des appareils de mesure sont consignés sur un registre spécial, avec toutes les circonstances qui s'y rapportent.

On y associe la tenue de plans particuliers d'aérage, sur lesquels on figure seulement ceux des éléments de la mine qui se rapportent directement à la ventilation, en omettant volontairement les autres détails. Ces plans présentent tout le développement du courant, avec ses bifurcations, l'indication des volumes qui passent dans chaque branche, leurs vitesses, leurs sections, les portes, les guichets, l'emplacement des quartiers grisouteux, les régions déterminées par le règlement pour l'emploi de telle ou telle lampe, les stations de rallumage, etc. Il est intéressant de les établir, pour l'un au moins d'entre eux, d'après le principe des cartographes, en donnant aux traits des largeurs proportionnelles aux volumes qui passent dans chaque travée. L'œil en saisit alors l'ensemble avec beaucoup de netteté.

1042 — On a institué, dans certaines exploitations, un personnel spécial de *surveillants d'aérage* ou *chercheurs de grisou* (¹). Ces hommes, recrutés avec soin parmi ceux qui ont le plus d'expérience, de sang-froid et de conscience, sont soustraits par la délimitation particulière de leur service, aux préoccupations multiples qui pèsent sur l'esprit du maître mineur, et peuvent avoir pour résultat de détourner son attention. Constamment en mouvement, ils

(¹) Cette institution est obligatoire en Belgique (arrêté royal du 1er mars 1850). Elle existe aussi en Allemagne avec le *wetteraufseher*.

inspectent les chantiers, et signalent ceux qu'il devient urgent d'évacuer pour un danger actuel, en même temps que les mesures protectrices qu'il convient de prendre, en vue d'invasions plus insidieuses et plus lentes. Il sera bon de les astreindre à laisser une marque matérielle de leur passage en des endroits spéciaux, dans la ronde qu'ils doivent effectuer; notamment aux points d'arrêt que le personnel ne doit pas dépasser, et qui lui sont signalés d'une manière propre à forcer l'attention.

CHAPITRE XLIII

AMÉNAGEMENT DU COURANT

—

§ 1

MOYENS D'EXÉCUTION

1043 — *Portes d'aérage.* — Si le courant était abandonné à lui-même, il s'ouvrirait un lit, par la voie qui lui créerait le moins de résistance, depuis le point d'entrée jusqu'à l'orifice de sortie. En dehors de ce parcours, toute la masse resterait à l'état stagnant. Il est donc nécessaire de s'occuper de diriger ce courant de proche en proche, en disposant, sur les points où plusieurs directions s'offrent à lui, des obstacles de nature à le forcer de prendre celle que l'on a en vue.

Les moyens que l'on peut employer à cet effet se rattachent à trois catégories : les portes, les cloisons ou barrages, les tuyaux ou canars.

Les *portes d'aérage* servent à interrompre le courant d'air, sur des points qu'il doit cependant rester possible de traverser, pour les hommes et les trains. Autrefois elles étaient établies avec beaucoup de négligence, et souvent composées d'une simple toile tendue sur un châssis joignant fort mal la paroi. Cet état de choses serait aujourd'hui une faute sans excuse. On doit, au contraire, s'attacher à soigner cette installation. Malgré ces précautions, ces organes n'en restent pas moins une cause de déperdition d'air par les joints latéraux, et par-dessous en raison de la hauteur des rails. On doit donc

restreindre au strict nécessaire le nombre de portes employées pour l'aménagement de la ventilation.

Certaines d'entre elles sont munies de guichets, que le maître mineur ouvre plus ou moins pour *brider* l'air, c'est-à-dire pour en régler la répartition. Le porion ou les chefs de poste conservent la clef du guichet, afin d'empêcher que son ouverture ne vienne à être modifiée. On ne doit pas dissimuler l'inconvénient des anfractuosités inévitables, que laissent derrière elles les portes à guichets. Il convient, pour ce motif, de les établir à l'entrée du quartier, dans l'air pur, et non à la sortie, dans l'air vicié. Sans cela, les remous qui tournoient sur place dans les angles, sans être entraînés par le courant, risqueraient de se charger progressivement de grisou et d'atteindre la proportion explosible.

En outre, avec cette seconde disposition, si un dégagement important venait à se produire, la difficulté qu'il éprouverait à passer par le guichet, pourrait le faire refluer en arrière jusqu'à l'accrochage, où il occasionnerait un désastre, si ce dernier était éclairé à feu nu. Ajoutons, dans le même ordre d'idées, que ces portes seront mieux placées dans la voie de roulage, qui est fréquentée et soumise à une surveillance plus sérieuse, que dans la voie de retour d'air, où il convient précisément de ne pas faire circuler inutilement des lampes. On doit enfin établir les guichets aussi haut que possible, afin de ne pas laisser de grisou en couronne.

Les portes les plus importantes sont gardées par des portiers. Cependant cet usage est inconnu en Angleterre. On emploie pour cet office soit des gamins, soit des ouvriers hors d'âge; mais il convient de préférer ces derniers, qui présentent de plus grandes garanties d'attention et d'expérience. En l'absence d'une surveillance régulière, les enfants se rendent plus difficilement compte de l'importance de cette mission, en apparence si insignifiante, et des dangers que peut entraîner leur négligence.

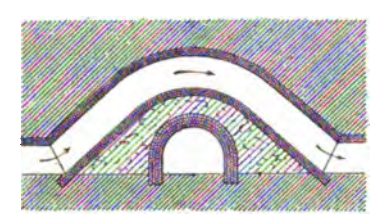
Les portes sont, le plus souvent, manœuvrées par les hommes qui passent. Quelques-unes sont battantes, et même à doubles battants, quand la galerie est à double voie. Chacun des deux vantaux s'ouvre alors dans le sens de la circulation affectée à la voie correspondante. Dans certaines mines, on a disposé, sur les châssis,

des bandes de caoutchouc qui reçoivent la pression de la porte battante, et assurent une fermeture plus étanche.

Toute porte momentanément sans emploi doit être enlevée de ses gonds, afin de bien marquer cette circonstance. Sans cela, chacun aurait le devoir de la considérer comme ouverte par mégarde, et de la refermer avec soin.

On doit recommander l'emploi des portes *doubles*, qui laissent entre elles un espace égal au développement des plus longs trains. Ces derniers s'y engageront comme dans un sas, de manière que la communication ne cesse jamais d'être interceptée. Les portes *solidaires* sont tellement disposées, que l'ouverture de chacune d'elles ferme nécessairement sa conjuguée. Les systèmes mécaniques proposés jusqu'ici, à cet égard, ont été jugés défectueux, mais il serait certainement intéressant d'en réaliser de meilleurs [1].

1044 — *Crossing.* — Dans les conditions ordinaires des méthodes françaises, on dispose, pour l'aménagement des mines, de



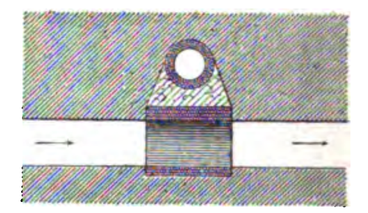


Fig. 659 et 660. Crossing de Llwynpia (coupes verticales en long et en travers).

l'espace à trois dimensions, et l'on n'est pas embarrassé pour faire passer, à différents niveaux, des branches du courant qui se recoupent en projection horizontale, de manière à leur éviter toute rencontre. Mais, en Angleterre, la plupart des couches sont en plateures et de moyenne épaisseur, de telle sorte que tout le réseau des voies de communication y reste concentré, sans en sortir. Lors donc que la projection horizontale présente un croisement, il faut, en ce point, faire sortir l'une des deux galeries des épontes du gîte

[1] Nous parlerons plus loin (n° 1196) des portes Verpilleux, qui, destinées à fonctionner dans les coups de grisou, ne jouent aucun rôle pour l'aérage normal.

(fig. 659, 660), pour qu'elle puisse passer en col de cygne pardessus l'autre, et redescendre plus loin dans la couche. Une telle disposition porte le nom de *crossing*. On choisit toujours, quand il faut ainsi courber l'une des voies, la moins importante des deux.

Il est absolument essentiel de laisser alors à la voûte, ou à l'estau de roche qui sépare les deux galeries superposées, une épaisseur plus que suffisante pour ne pouvoir être crevée par un coup de feu. Cet accident, dont il y a de nombreux exemples, est de nature à entraîner des conséquences désastreuses. En effet, lorsque la communication est devenue libre, le courant prend, de lui-même, la voie la plus courte, en plongeant dans une stagnation complète toute la boucle que le crossing avait pour but de lui faire parcourir, avant de le ramener sur le même point.

1045 — *Canars.* — Lorsqu'il faut conduire l'air au fond d'une galerie en cul-de-sac, trop longue pour que l'on puisse compter uniquement sur la diffusion, on emploie de gros tuyaux en tôle ou en zinc [1], assemblés au moyen d'emboîtements, et lutés avec du suif. Leur diamètre est en général de $0^m,20$ à $0^m,30$. On les pose dans les angles dièdres de la galerie, à terre ou au plafond. Pour les sections muraillées, on a imaginé des tuyaux elliptiques, qui se logent convenablement dans le cintre de la voûte, où ils reposent sur des traverses encastrées dans la maçonnerie. Quand on a besoin d'une section plus importante, on a recours à des caisses de bois de $0^m,35$ sur $0^m,60$ dont les rallonges à emboîtement présentent environ 3 mètres de longueur. Ces divers organes, très répandus en Belgique, sont à peu près sans exemple en Angleterre.

Deux moyens peuvent être mis en œuvre pour forcer l'air à circuler dans les canars. On peut d'abord se contenter de barrer la galerie d'arrivée à l'aide d'une porte, et d'encastrer dans son châssis le tuyau qui va déboucher au fond du cul-de-sac. Le mouvement y est déterminé par la dépression de l'aérage général. Si ce procédé est insuffisant, on emploie un ventilateur spécial à bras (n° 1071). L'introduction de ces portes est une cause d'infériorité pour le

[1] On en a construit en carton bitumé.

système des canars, dont le régime intérieur se trouve troublé par leurs fréquentes ouvertures.

1046 — *Cloisons.* — On préfère, autant que possible, les *galandages*, c'est-à-dire des cloisons régnant sur toute la hauteur de la galerie, dont elles partagent la section en deux travées très inégales. La plus petite porte le nom de *carnet*, ou *goyot*, d'aérage. Cette cloison peut également être horizontale. En surélevant la galerie, on y établit un plancher qui supporte la voie ferrée. Le retour d'air s'effectue par-dessous, et le mouvement est encore facilité par celui de l'eau qui s'écoule dans ce caniveau. Ces galandages se font en planches, dont les joints sont recouverts d'un lut argileux. On les établit aussi en briques. Certaines galeries anglaises ou allemandes sont cloisonnées par de simples toiles goudronnées ([1]).

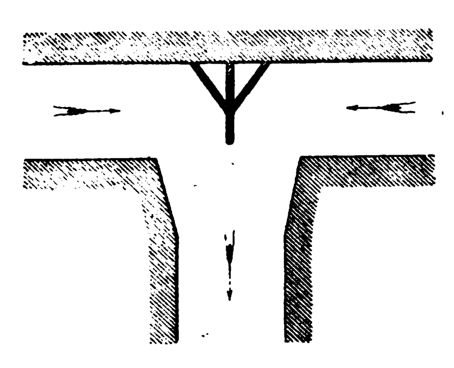


Fig. 661. Courants d'air convergents (coupe horizontale).

Les *barrages* offrent plus de résistance à un coup de feu. Les plus importants sont construits en maçonnerie épaisse, ou en argile pilonnée. Bien souvent, on se contente d'un massif de remblai, en ayant soin de le serrer autant que possible, sans quoi il donne lieu à une très grande déperdition d'air ([2]). Nous avons vu un exemple de ce dispositif, dans la constitution

([1]) *PA*, Angleterre, 125; Allemagne, 158.

([2]) Des jaugeages effectués au puits de l'Agrappe ont montré que la différence entre le volume qui parvient aux tailles et celui que l'on mesure au pied du puits, atteint (n° 1018) les 36 centièmes de ce dernier. En Angleterre, on observe des pertes encore plus considérables. Les énormes volumes que l'on cite souvent comme des modèles, ne constituent souvent, en raison des conditions de la méthode, qu'une simple apparence recouvrant une réelle disette d'air dans beaucoup de chantiers. Le longwall y constitue, à cet égard, le type d'exploitation le plus satisfaisant, en forçant l'air de passer le plus près possible des fronts de taille.

de l'artère qui sert de base d'opération pour la méthode des grandes tailles[1].

Lorsque deux voies d'air viennent au-devant l'une de l'autre, pour réunir leurs contingents dans un branchement perpendiculaire (fig. 661), on court le risque de voir le plus faible des deux courants refoulé par le plus fort. On prévient cette difficulté, en établissant, dans l'axe du tronc commun, un barrage qui brise à la fois les deux vitesses, et les infléchit côte à côte.

§ 2

PRINCIPES GÉNÉRAUX DE L'AMÉNAGEMENT

1047 — *Circulation ascensionnelle.* — La disposition générale du courant dans l'intérieur de la mine doit être l'objet d'une étude attentive. Le problème se complique au fur et à mesure que les travaux deviennent eux-mêmes plus complexes. On peut dire, d'une manière générale, que la solution est plus nette dans la période du traçage que pendant celle du dépilage. Il en résulte du reste un bien, car la première phase est souvent celle qui donne le plus de grisou et présente les plus mauvaises chances, pendant cette saignée du massif, pourvu que l'on s'attache à conduire ensuite le dépilage avec la prudence convenable.

Les principes généraux qui doivent présider au choix de la disposition d'ensemble sont extrêmement simples, et, en même temps, d'une importance fondamentale.

1048 — Nous énoncerons, en première ligne, la règle de la *circulation ascensionnelle*. Elle consiste en ce que l'on doit faire arriver le courant d'air par le pied du puits le plus creux, et le développer ensuite de manière qu'il aille toujours en montant, en n'admettant, autant que possible, aucun parcours de haut en bas, ou à *rabat-vent* [2]. On en peut donner les motifs suivants.

[1] Tome I, p. 499.
[2] En Belgique, on distingue l'*aérage descendant* et l'aérage *à rabat-vent*. La pre-

L'air tend, par son introduction dans la profondeur, à s'échauffer, et, par suite, à se dilater. En outre, il se charge de vapeur d'eau et de grisou, double influence qui tend, comme la première, à diminuer sa densité. Le fluide aura donc une prédisposition naturelle à s'élever, lorsqu'il aura ressenti ces influences, et l'on doit chercher à se la donner pour auxiliaire, et non comme obstacle. Cette précaution prend surtout de l'importance le long des fronts de taille, où le grisou se dégage à l'état de pureté, avec une tendance marquée à monter qu'il convient de favoriser, pour éliminer le plus rapidement possible cet hôte dangereux.

Cependant cet énoncé doit être entendu avec mesure, et non comme un précepte absolu qu'il faille suivre aveuglément. Il peut, par exemple, devenir utile de renverser le courant établi, pour combattre les feux en les attaquant successivement de tous les côtés, et toujours avec l'air au dos; ou encore, pour dégeler, en hiver, le puits d'extraction, lorsque les clichages et les guidonnages sont encombrés de glaçons.

Toutefois ce principe, trop méconnu en Angleterre, et, au contraire, devenu réglementaire en Belgique, doit être conservé comme une règle normale par l'exploitant, afin de se donner comme une ressource, surtout en cas d'arrêt inattendu de la machine, la tendance ascendante spontanée qui contribuera à entretenir pendant quelque temps le mouvement (n° 1103). Elle offre également l'avantage de placer les câbles d'extraction dans de meilleures conditions de conservation, par leur situation au milieu de l'air pur. Il en est de même pour l'hygiène des moulineurs aux recettes, et des rouleurs dans la voie de fond. Les lampes, toujours agitées, de ces derniers, présenteront également moins de dangers qu'avec le retour d'air.

On doit, dans tous les cas, tenir absolument la main à ce que le courant n'ait plus jamais à redescendre, dès qu'il a passé sur un point grisouteux. Sans cela, en raison des défauts d'homogénéité

mière de ces dénominations se rapporte à une ventilation qui, d'abord ascendante le long du front de taille, se trouve ensuite obligée de redescendre, au lieu de s'échapper par un maillage supérieur. Dans le système à rabat-vent, le courant suit en descendant le front de taille.

que peut présenter le mélange de l'air avec le gaz, celui-ci risquerait de rester en cloche, au point maximum du parcours.

Il va sans dire que, dans ces énoncés, on ne considère pas comme une descente la simple pente du roulage libre sur rails.

Si des dérogations deviennent inévitables, elles seront surveillées de la manière la plus attentive. L'air doit alors monter par la taille, surtout quand elle est tracée en maintenages, et redescendre ensuite par une voie rectiligne, inclinée en pente douce de 10 degrés au maximum.

1049 — *Subdivision du courant.* — Le principe de la subdivision du courant ([1]) est tout aussi essentiel que le précédent. On trouve théoriquement un énorme avantage à fractionner le courant en plusieurs bras, à partir du pied du puits d'entrée, ou, du moins, de l'extrémité du travers-bancs, au lieu de le conduire, le long d'un lit unique, dans toutes les parties de la mine les unes après les autres.

Reprenons, en effet, la formule (6, p. 390) :

$$h = \frac{cp}{s^3} lq^2,$$

et imaginons que l'on divise le trajet total l en n segments égaux, dont chacun aura pour longueur $l' = \frac{l}{n}$, et sera parcouru distinctement par le débit $q' = \frac{q}{n}$. La dépression h', qui correspond à ce nouvel état de choses, aura de même pour valeur :

$$h' = \frac{cp}{s^3} . l'q'^2 = \frac{cp}{s^3} \frac{lq^2}{n^3} = \frac{h}{n^3};$$

elle décroît donc en raison inverse du cube du nombre de dérivations. Elle sera 8, 27, 64,.... fois moindre, si l'on a fractionné la circulation en 2, 3, 4,.... courants partiels ([2]).

([1]) Introduit en 1760 par Spedding.

([2]) Dans la couche Hutton, à Eppleton, on a poussé la subdivision jusqu'à *neuf* déri-

L'avantage de réduire la force motrice dans une proportion aussi considérable n'est pas le seul, et l'on en peut citer d'autres plus essentiels encore. Il est évidemment préférable, en effet, qu'une masse d'air, une fois contaminée, soit conduite au jour ou, tout au moins, au retour d'air collecteur général, par la voie la plus directe et sans parcourir d'autres chantiers, au lieu d'être promenée successivement dans tous les ateliers, en passant sur toutes les lampes.

Un éboulement, qui arrêterait toute la ventilation, si elle était à courant unique, ne provoque, avec la subdivision, qu'une perturbation beaucoup plus circonscrite.

Ce principe permet encore, en apportant de légères variations dans la distribution respective du débit total entre les diverses sections, de venir en aide à l'assainissement de la région qui, pour un moment, inspire plus de préoccupations qu'à l'ordinaire, avant d'en venir à faire varier le total de l'aérage, ce qui serait la seule ressource avec un courant unique.

Les moyens matériels employés pour réaliser cette division établiront entre les quartiers une séparation qui, quoique bien précaire assurément, ne sera cependant pas tout à fait sans valeur contre des coups de feu d'importance modérée. Ceux-ci pourront donc être plus limités dans leurs ravages, et les opérations du sauvetage sur le théâtre de l'accident se trouveront, en outre, facilitées par la conservation des régions voisines et de leur personnel.

L'idéal de l'application du principe qui nous occupe, serait que chaque quartier eût sa circulation spéciale, avec une entrée et une sortie distincte au jour, de manière à présenter, pour ainsi dire, dans la mine, plusieurs mines distinctes. Mais ce *desideratum* ne pourra presque jamais être obtenu, si ce n'est lorsque la division du gîte en couches distinctes apportera, sous ce rapport, des facilités spéciales. Lorsque, au contraire, comme c'est le cas le plus fréquent, tous les courants se réunissent finalement dans un même collecteur d'ensemble, il importe, du moins, de faire le possible pour éviter qu'aucun d'eux puisse être interverti par une explosion.

vations. En revanche, à Ryhope, on rencontre un courant d'air de 9 kilomètres de développement (*PA*, *Angleterre*, 230 et 232).

Mais ceci même est difficile à réaliser avec certitude, et l'on ne peut guère indiquer que l'emploi des portes Verpilleux (n° 1196), pour donner, à cet égard, une demi-sécurité.

Il convient, en terminant, de faire observer, qu'à côté d'aussi nombreux avantages, la division du courant présente un inconvénient. Il peut arriver, en effet, que des causes accidentelles arrêtent ou ralentissent une de ses branches, sans que l'on en soit averti dans tout l'ensemble des travaux, comme cela serait inévitable avec le courant unique (1). Mais le remède à ce défaut se trouvera facilement dans une surveillance attentive.

1050 — *Élargissement des retours d'air.* — Théoriquement, la section offerte au courant devrait aller toujours en croissant, afin de conserver la vitesse que l'on a jugée convenable (2).

Nous avons vu, en effet (n° 1048), que toutes les influences qu'il subit tendent à le dilater. Il faut donc insister sur la nécessité des grands retours d'air.

Cette vérité est trop méconnue en général, pour des raisons d'économie de percement et d'entretien fort mal entendues, et qui peuvent devenir fatales. On va même quelquefois directement à contresens de cette règle, en établissant les maillages sur des sections rétrécies par rapport au calibre général des galeries de service. Il n'est pas sans exemple de trouver, en Angleterre, dans certains retours d'air, des vitesses de 3 à 4 mètres, parfois même de 5 à 6 mètres, ce qui constitue une très grave imprudence.

Il convient également de laisser toujours, dans ces galeries, une voie ferrée, pour y faciliter les réparations et les sauvetages. Les ingénieurs devront se faire une obligation personnelle de visiter périodiquement cette partie des travaux, pour s'assurer de son état, souvent trop négligé.

1051 — *Suppression des anfractuosités.* — Il est nécessaire d'apporter un soin particulier à éviter, autant que possible, toutes

(1) De Vaux, *Annales* des travaux publics de Belgique, XX, 153.

(2) Si cette vitesse était appelée à varier, elle devrait plutôt tendre à diminuer progressivement, puisque la composition de l'air devient de plus en plus redoutable.

les anfractuosités, dans lesquelles des masses gazeuses se logeraient à l'état stagnant, ou dans un état de gyration lente qui ne participe pas à la circulation générale. Le grisou pourrait, dans ces conditions, s'y accumuler à loisir jusqu'à la proportion explosible.

On ne remédierait nullement à cet état de choses en forçant la ventilation. Le courant, ainsi stimulé, se bornerait à passer avec plus de vitesse devant la masse stagnante, qu'il attaquerait à peine. La configuration des travaux, en grand de même qu'en détail, permet seule d'atteindre le résultat.

Le mode employé pour le revêtement des galeries présente, sous ce rapport, un grand intérêt. Les boisages, par l'importance de leur équarrissage, donnent lieu à des rentrants très marqués. En outre, les incessantes réparations dont ils sont l'objet, tendent à faire jouer le plafond et à le fendiller, en y créant des nids de grisou d'où il est impossible d'extraire le gaz. Le soutènement en fer diminue beaucoup cet inconvénient. Lors même que l'on réduit l'emploi du métal aux cadres mixtes, formés de montants en bois et de chapeaux en rails, on réalise ainsi un progrès notable, car c'est au faîte que se trouve la région la plus critique. La maçonnerie lisse fournit, à cet égard, la meilleure solution.

1052 — *Aérage diagonal.* — M. Murgue conseille de placer de préférence, lorsque rien ne s'y oppose, les puits d'entrée et de sortie aux deux points les plus éloignés du réseau de travaux, en vue d'en faire parcourir l'ensemble, au moyen d'un trajet moins compliqué que lorsqu'il faut ramener l'air presque au point de départ. De là une diminution des résistances et de la déperdition en route.

Cet avantage évident mérite d'être signalé en principe. Toutefois il y aura souvent à compter avec des convenances opposées. Il est clair, par exemple, qu'au début d'une exploitation, les deux puits ne sauraient être placés à la distance extrême qu'elle embrassera plus tard. En outre, les puits jumeaux présentent des avantages qui en ont beaucoup répandu l'emploi.

En Angleterre, il est de pratique à peu près constante de mettre les puits d'entrée et de sortie tellement près l'un de l'autre, que,

par rapport à l'immense étendue du champ d'exploitation, l'effet en peut être considéré comme l'équivalent d'un puits unique, cloisonné en compartiments. Et cependant, les conditions d'exploitation de la plupart de ces houillères sont de nature à porter au maximum les inconvénients de ce système de circulation, car on se trouve en présence des immenses vides du goaf (1), avec les ressources les plus imparfaites pour guider le courant, et le forcer de passer au front de taille (n° 1018). C'est ce qui explique l'énorme déchet qui s'opère en route, et l'écart qui existe (n° 1046, note 2) entre la quantité injectée dans le puits et le volume directement utile.

§ 3

AMÉNAGEMENT DES TRAVAUX AU POINT DE VUE DE L'AÉRAGE

1053 — C'est à la clarté de ces principes généraux que l'on devra discuter, au point de vue de l'aérage, la méthode d'exploitation. Sans reprendre pour cela, pas à pas, la série des subdivisions qui ont rempli la quatrième partie de ce Cours, nous chercherons à esquisser les lignes principales d'un tel examen (2).

L'exploitation intensive qui, sur beaucoup de points, est de plus en plus à l'ordre du jour, en vue de faciliter la surveillance, de diminuer la durée des ouvrages et leurs dépenses d'entretien, d'éviter de laisser le charbon se fatiguer et s'échauffer, prête le flanc à la critique quand il s'agit de gîtes grisouteux. Un avancement rapide tend alors à déverser des torrents de gaz dans la circulation (nos 1004, 1017).

Nous avons vu que l'on doit, au contraire, conseiller une marche ralentie et prudente, avec une suffisante dissémination des quartiers,

(1) Tome I, p. 430.

(2) A. Gurlt. Über den Abbau Grubengas führender Steinkohlenflötze (Gluckauf, Essen, 1880, n° 45). — A. Gurlt. Die Verhütung von Explosionen schlagender Wetter in Steinkohlenbergwerken, Bonn. 1880. — Hasslacher. Die Steinkohlenbergwerke Preussens nach der verschiedenen Art ihrer Wetterführung (*Zeitschrift BHS*, XXX, 181). — Die Wetterführung auf den Steinkohlenbergwerke (*Zeitschrift BHS*, XXXI, 85, 136, 144).

de manière à pouvoir toujours reporter le personnel d'un point sur un autre, pour *ne jamais travailler dans le grisou*. Il faut abandonner le chantier dès l'apparition de ce gaz, et lutter contre cette invasion avec des flots d'air, pour assainir la région critique, et la ramener à un régime sûr, avant d'y rentrer.

En second lieu, une trop grande concentration des ouvriers aggrave les résultats de la catastrophe, si le chantier vient à sauter ; tandis qu'avec un éloignement suffisant des divers quartiers, on peut espérer qu'un certain nombre d'entre eux, au moins, échapperont aux effets de coups de feu modérés.

1054 — Les tracés à gradins renversés, et particulièrement les maintenages, qui présentent des angles rentrants multiples, sont dangereux, en raison des nids de grisou formés dans ces angles, au fond desquels il est impossible de conduire le courant. Dans tous les cas, l'aérage doit être alors essentiellement ascensionnel, et serrer les fronts de taille, d'aussi près qu'il est possible, sans risquer d'exagérer la valeur de la vitesse.

Les méthodes de grandes tailles présentent, au point de vue de l'aérage des gîtes grisouteux, un certain avantage sur celles de massifs courts, qui tendent à écraser les piliers et à faciliter la sortie du gaz. Cependant cette propriété devient, en sens inverse, un avantage, si l'on juge à propos de préparer progressivement l'assainissement du massif, pour diminuer les torrents de grisou qui se produisent au moment de l'abatage.

Il sera préférable, dans ces méthodes, de disposer les fronts de taille en inclinaison, avec des avancements chassants, car ils seront ainsi plus vivement léchés par le courant, avec tendance spontanée du grisou à monter et à quitter son point d'émergence. Les méthodes montantes seront proscrites des gisements gazeux, car le grisou stationnerait alors aux fronts de taille, disposés en direction. Il y augmenterait les mauvaises chances par son séjour au milieu des lampes et des coups de mine.

Avec la méthode des chambres, on doit interdire absolument, dans les houillères grisouteuses, l'emploi des ouvrages en remonte comme base du système d'exploitation. Si, exceptionnellement, un

percement montant a été reconnu indispensable pour l'aménagement général de la mine, l'exploitant s'y entourera d'un système de précautions tout spécial, en conduisant le courant exactement jusqu'à l'avancement au moyen d'un galandage, surveillant strictement l'état de l'atmosphère sur ce point pour les lampes, et interdisant absolument l'emploi de la poudre.

1055 — La production accidentelle des cloches doit être surveillée avec le plus grand soin, et ces cavités comblées sans retard.

Si un quartier, tracé d'après une méthode quelconque, admet un point maximum en cul-de-sac, il convient de le dégager aussitôt que possible, par un chemin d'air partant de ce point et aboutissant à un étage supérieur, ou au jour. La section de ce maillage recevra une importance proportionnée à celle du district qu'il dessert. Parfois un coup de sonde de gros calibre peut suffire, comme pour un réavalement sous-stot. Il serait alors dangereux, en fonçant le puits de bas en haut à travers un massif grisouteux, de faire redescendre le courant dans un compartiment spécial (¹).

Les coups de sonde sont également employés dans le sens horizontal, pour les galeries percées dans des masses susceptibles de donner des dégagements instantanés, ou conduites à la rencontre de vieux travaux. On doit alors se faire précéder d'un sondage, constamment maintenu à une distance suffisante de l'avancement. Si l'on rencontre ainsi des amas de gaz, on ne les dissipera qu'avec les plus grandes précautions, et, autant que possible, en présence d'un ingénieur, après avoir acquis la certitude de ne pas créer par là un danger réel sur le parcours de cette évacuation.

On emploie encore les coups de sonde (n° 1004) pour saigner le charbon et en extraire progressivement le gaz, avant la tombée en masse au moment de l'abatage. Le havage contribue lui-même à cet effet, parfois même avec trop d'abondance, et l'on doit, en pareil cas, ne le pratiquer que successivement, aux divers points d'une même taille.

(¹) Pour un motif analogue, les planchers de séparation que l'on établit dans les puits pour les échelles (n° 1256), seront à claires-voies, afin qu'ils n'aient pas pour effet de maintenir dans la stagnation des masses d'air susceptibles de devenir explosives.

1056 — L'un des points les plus importants consiste à éviter la déperdition du courant le long du parcours. Les galandages, les cloisons en remblai (nº 1046) y sont souvent bien insuffisants. L'on devra alors, de préférence [1], comme nous l'avons vu dans les méthodes anglaises [2], conduire parallèlement deux galeries jumelles, séparées par un massif de houille d'une épaisseur suffisante pour la sécurité, sans toutefois y apporter une exagération qui se traduirait par une augmentation inutile de la longueur des traverses d'aérage. La partie de l'avancement qui précède la dernière recoupe, restée seule ouverte pour le passage du courant, sera ordinairement ventilée par diffusion; mais, si le danger l'exige, on l'aère au moyen d'un galandage mobile, qui suit les progrès du percement, et que l'on démonte pour le reporter en avant, au moment où l'on vient de percer une nouvelle traverse et de fermer la précédente [3].

M. l'inspecteur général des Mines Tournaire a recommandé [4] la disposition suivante, en vue d'éviter les pertes en route dans les remblais, ou par les fuites des portes. Elle consiste à pratiquer, au sommet de l'étage exploité dans une couche inclinée, une galerie costresse destinée à jouer spécialement le rôle de retour d'air, et d'une manière distincte de la voie de service des remblais de cet étage. On peut la mettre en plein massif, ainsi que cette dernière, si la puissance le permet pour toutes les deux, ou sinon la placer dans une couche voisine, ou même au rocher. Ces deux ouvrages se prêteront un mutuel secours pour leur aérage, dans la période du percement. Plus tard, pendant le développement normal du dépilage, le courant, après avoir parcouru les chantiers de l'étage en question, reviendra par ce chemin d'air spécial, en laissant

(1) Du Souich (*Pièces annexées* aux procès-verbaux de la Commission du grisou, 1er fascic., p. 89).

(2) Tome I, p. 389.

(3) Un principe analogue a été suivi à Ronchamp, dans le fonçage de puits jumeaux séparés par un court massif. On conduit alors les deux avancements du même train, et on les relie, à diverses hauteurs, par des traverses horizontales, pour que l'air puisse descendre par l'un des puits et remonter par l'autre. On obtient ainsi un aérage bien plus satisfaisant que dans les conditions ordinaires, où les suintements de l'humidité engouffrent le long des parois une gaine d'air extérieur, qui remonte en colonne centrale (nº 1123).

(4) *Procès-verbaux* des séances de la Commission du grisou, p. 84.

la voie de roulage dans ses relations ordinaires avec le déhouillement. Le retour d'air se trouvera dès lors en plein massif, sans parois de remblais ni portes mobiles. Il transmettra donc, de la part du ventilateur aspirant placé sur le puits de sortie, un appel plus puissant et plus direct sur les fronts de taille vers lesquels on dirige le courant par le pied de l'étage.

§ 4

VIEUX TRAVAUX

1057 — Nous avons insisté déjà sur le danger que présentent les vieux travaux, comme réservoir de masses grisouteuses prêtes à envahir la mine, si une cause adventice vient les y appeler.

On doit s'attacher, autant que possible, à ce que les parties abandonnées se trouvent en amont-pendage des quartiers en activité, afin que le grisou ait moins de tendance à en sortir, pour pénétrer dans les chantiers habités. Il faut donc éviter d'avoir des étages trop élevés à prendre de bas en haut, de manière à accumuler au-dessous de soi les tranches déhouillées [1]. Pour le même motif, il est bon de ne pas mettre en train trop d'étages simultanément. Cependant le contraire peut se trouver indiqué, dans les cas où le traçage est de nature à assainir le massif avant la période de dépilage. Ce sera donc une appréciation à faire dans chaque cas.

1058 — Le danger des vieux travaux disparaîtrait s'ils ne présentaient aucun vide. Sous ce rapport, les méthodes de remblai présentent sur celles de foudroyage un avantage tellement marqué, que ces dernières ne devraient jamais être admises pour les gisements grisouteux. En effet, la tombée s'y fait au hasard, tandis qu'avec le remblayage, les matériaux sont disposés de main d'homme,

[1] Le grand accident de Oaks Colliery, le plus meurtrier qui ait jamais dévasté une mine (n° 1187), a été attribué à une influence de ce genre.

de manière à diminuer les vides autant que possible. Aussi cette opération devra-t-elle être particulièrement surveillée.

En second lieu, le principe du foudroyage expose à laisser dans les éboulements une certaine quantité de charbon, qui les imprégnera encore de gaz, après que l'avancement se sera reporté plus loin.

Il est même arrivé, qu'en propageant la dislocation jusque dans des lits charbonneux inexploitables intercalés dans le toit, on faisait refluer dans les travaux les gaz dégagés par ces couches étrangères (1). On s'est trouvé alors conduit à saigner ces bancs grisouteux, par un réseau de traçage qui précédait, à une certaine distance, l'avancement, dans la couche du mur, de la méthode d'éboulement.

1059 — On ne peut espérer, dans la réalité, que diminuer, sans pouvoir jamais les supprimer complètement, les vides des vieux travaux; sauf les cas particuliers, où la charge du toit donne assez énergiquement pour serrer complètement des remblais argileux. Il reste donc, à cet égard, à choisir entre deux tendances opposées qui ont chacune leurs partisans.

En général, on s'attache à isoler le plus possible les quartiers abandonnés. De cette manière, on ne leur envoie aucune dérivation du courant d'air, et, en même temps, on se trouve défendu contre leurs émanations.

Certains praticiens (2), au contraire, ont affirmé l'utilité du *drainage des vieux travaux*. Dans le bassin de Mons, on a exécuté des purges systématiques en obligeant, par la fermeture des portes, la totalité de la ventilation à filtrer à travers les vieux travaux, pour en extraire des torrents de mauvais air (3).

M. Soulary (4) a coordonné toute une méthode d'exploitation basée sur ce principe. Il ménage des conduits en pierres sèches au milieu

(1) *PA*, Angleterre, 57.
(2) Voisin (*Annales*, 7e, IV). — Coince. Mémoire sur sa mission en Angleterre, p. 25. — Dunn. Traité d'exploitation. — *Zeitschrift BHS*, XX, Nonne; XXIV, 73, Schondorf.
(3) *PA*, Belgique, 68.
(4) *Annales*, 7e, XI, 241.

du remblayage, au moment où l'on comble les anciennes voies de communication. Les massifs de remblai y déverseront librement leur gaz, dont l'auteur assure l'évacuation au dehors, au moyen de dispositifs, variables suivant les cas, et dont la description ne saurait trouver place ici. Mais on a élevé contre cette combinaison une objection d'une grande force. D'après la difficulté que l'on éprouve, dans les conditions ordinaires, à maintenir, au milieu des remblais, des galeries surveillées et entretenues, il y a lieu de penser que ces drains abandonnés s'oblitéreraient rapidement. Or il suffirait d'un seul point sur lequel la charge viendrait à donner, en écrasant le canal, pour condamner complètement le fonctionnement d'une artère, quelle qu'en fût la longueur. Le système perdrait alors son efficacité; on n'en serait pas même averti, et l'on se trouverait placé par là dans des conditions pires, sans doute, que le mode ordinaire.

Quand on croit utile de maintenir une diffusion modérée du courant à travers les quartiers abandonnés, en vue de les assainir dans une certaine mesure, il importe, au moins, de ne pas perdre de vue la distinction suivante. Si la charge doit comprimer les remblais dans un court délai, en n'y laissant que des vides très réduits, qui opposent de grandes résistances au mouvement des gaz, le mieux sera incontestablement de les isoler absolument à l'aide de barrages étanches. Si, au contraire, des vides importants doivent rester ouverts presque indéfiniment, comme dans certaines houillères de la Grande-Bretagne exploitées par foudroyage ou remblai partiel, c'est alors seulement que se peut discuter l'utilité d'un aérage mitigé. On peut même ajouter que, la plupart du temps, il s'imposera, beaucoup plus comme une circonstance inévitable, que comme un résultat choisi par préférence.

Une seconde distinction essentielle concerne le degré de prédisposition des vieux travaux à l'incendie. Avec des charbons inflammables, un certain accès d'air sur les menus abandonnés dans ces quartiers, trop faible pour les rafraîchir et suffisant pour les oxyder, ne peut être qu'excessivement nuisible.

1060 — Avant qu'un district arrive à être définitivement

classé dans la catégorie des vieux travaux, il arrive souvent que l'on se trouve forcé de l'évacuer momentanément, s'il devient décidément dangereux par les émanations qui s'y produisent. Cet abandon ne doit pas être décidé à la légère, et peut-être vaut-il mieux lutter sur le lieu même du dégagement, si l'on est suffisamment armé pour cela, que de chercher à l'étouffer, en le cernant d'une manière qui, toujours imparfaite, le laissera déverser à loisir son gaz dans le reste de l'exploitation. Cependant il est évident que l'abandon complet, avec établissement de barrages étanches, reste, en pareil cas, la dernière ressource.

CHAPITRE XLIV

VENTILATEURS

—

§ 1

FERMETURE

1061 — Le problème de la ventilation présente deux parties distinctes : l'étude, que nous venons de parcourir, du meilleur parti à tirer du courant d'air pour la sécurité de la mine, et, en second lieu, celle des moyens de mise en mouvement de ce courant. Il existe, à cet égard, deux classes de procédés : l'aérage mécanique et l'aérage sans machines. La première fera l'objet du présent chapitre ([1]).

Le ventilateur de mines s'installe au débouché d'un puits ou d'une galerie. On y établit une fermeture, afin de ne permettre la communication de l'intérieur avec l'extérieur qu'à travers le mécanisme. Il est préférable de disposer ce dernier, non pas directement sur l'orifice, mais à 10 ou 20 mètres à côté, à l'extrémité d'une courte dérivation. Dans ces conditions, la violence d'un coup de feu, qui s'exerce surtout dans le sens direct, emporte la fermeture, que l'on a soin précisément de faire très légère. Il épargne ainsi d'autant mieux la machine.

([1]) En France, l'ensemble des exploitations a employé, en 1880, pour la ventilation souterraine, environ 4330 chevaux-vapeur, répartis en 152 machines (*Statistique minérale pour* 1882, p. 27). En Belgique, cette force était, en 1879, de 13 940 chevaux, pour 381 machines d'aérage.

1062 — Il existe des fermetures mobiles, pour le cas où le puits d'extraction doit servir à l'introduction de l'air, actionné par un ventilateur foulant. La cage enlève alors cet obturateur sur son toit, au moment de la sortie, pour lui substituer son propre plancher, pendant qu'elle repose sur le clichage.

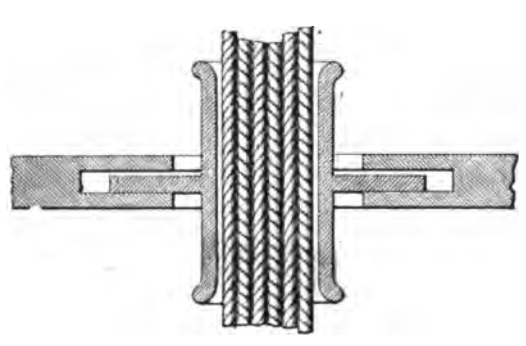


Fig. 662. Fermeture Briart.

Dans le système Briart, on prend des précautions spéciales pour le passage du câble, dont les balancements tendent à scier cette cloison en déterminant, en outre, une usure rapide du câble. A cet effet, on renferme ce dernier dans une gaine mobile, qui participe à ses oscillations, en jouant à coulisse dans la cloison fixe (fig. 662). Cet ensemble est loin d'être hermétique, mais la complication des passages offerts à l'air, et les résistances qui en sont la conséquence, rendent la perte peu importante.

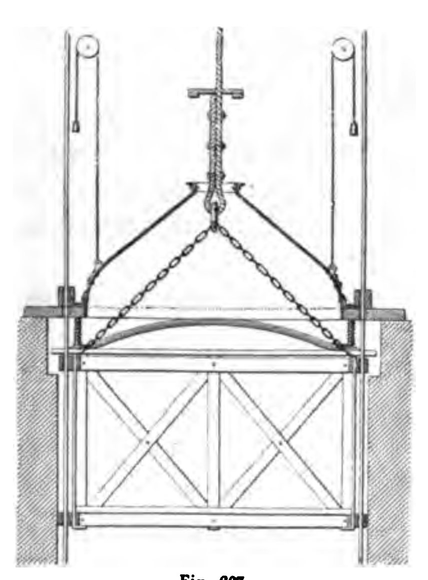


Fig. 663.
Clapets mobiles de la houillère de Dinas.

Dans la houillère de Dinas (South-Wales), la patte du câble commence par soulever la planchette légère, qui ferme le sommet du tronc de pyramide en planches destiné à obturer le puits (fig. 663). C'est ensuite la cage elle-même qui enlève, sur son toit, cet obturateur [1].

[1] *PA. Angleterre*, 84. — *Rev. univ. d. m. et u.*, 2ᵉ, VI, 105.

A Haswell (Durham), on obtient une fermeture beaucoup plus étanche, en coiffant la partie supérieure du puits d'une caisse fixe (fig. 664), d'une hauteur suffisante pour les manœuvres de la cage. Celle-ci, en arrivant au jour, soulève deux portes à coulisse pratiquées dans les faces latérales de ce boisage, de manière à permettre le mouvement des wagonnets, en même temps que le plancher de la cage forme obturation au-dessous. On double, en outre, à l'extérieur, ces ouvertures, de portes de sûreté manœuvrées par les moulineurs, et garnies de joints en caoutchouc.

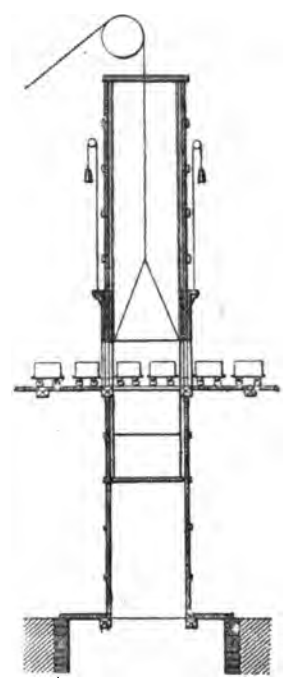


Fig. 664.
Gaine de fermeture mobile de Pemberton.

1063 — Parmi les obturateurs fixes, la fermeture hydraulique est la plus étanche. Elle consiste en une cloche métallique, équilibrée presque exactement par des poids, qui sont suspendus à des chaînes passées sur des poulies. Cette cloche baigne dans l'eau que renferme une rainure circulaire, ménagée autour du puits. Dans ces conditions, le moindre coup de feu aura pour premier effet d'enlever la cloche, en décoiffant le puits. Le passage, ainsi devenu libre, dégagera d'autant le ventilateur, établi sur une dérivation latérale.

Quelquefois la clôture est formée de deux volets à charnière. Il est arrivé que certaines explosions se sont bornées à les soulever en les laissant retomber, sans même que le ventilateur se soit trouvé arrêté. Nous avons vu (n° 748) le parti que l'on a tiré de cette disposition, pour l'établissement du parachute à chaînes, assez médiocre du reste.

§ 2

REFOULEMENT OU ASPIRATION

1064 — *Moteur d'aérage.* — On peut distinguer dans l'appareil d'aérage, comme nous l'avons fait déjà en ce qui concerne l'extraction et l'épuisement, l'opérateur proprement dit, chargé d'agir directement sur l'air, et le moteur, destiné à l'actionner lui-même.

En ce qui concerne ce dernier, il est inutile d'entrer dans des développements étendus, car, à l'inverse de ce qui concerne les deux grands services auxquels nous venons de faire allusion, la machine d'aérage, ordinairement chargée d'entretenir la rotation d'un arbre qui tourne toujours dans le même sens, se rapproche beaucoup des types ordinaires de l'industrie.

En général, les moteurs d'aérage sont à un seul cylindre horizontal. Il est bon d'avoir deux machines distinctes, dont l'une puisse remplacer l'autre périodiquement, et surtout en cas d'avarie accidentelle. On les établit symétriquement de part et d'autre de l'arbre de commande, avec une courroie de communication. Il suffit de déclaveter l'une des bielles et d'enclancher l'autre, pour opérer rapidement le changement. On doit également s'attacher à n'adopter que des dispositions qui permettent le graissage en pleine marche, car un arrêt, quelque court qu'on le suppose, sera toujours très fâcheux pour ce genre de service.

1065 — *Ventilateurs aspirants ou soufflants.* — Sous le rapport de leur fonctionnement, on distingue les ventilateurs *soufflants* ou *aspirants*, quelquefois appelés en Angleterre *positifs* ou *négatifs*.

Les ventilateurs soufflants exigent théoriquement un peu moins de travail que les seconds, pour faire passer une même *masse* d'air. En effet, les quantités de travail à développer sont proportionnelles aux forces vives engendrées, et celles-ci aux carrés des vitesses, puisque la masse est commune. Or les vitesses que doit

prendre une même masse pour franchir une section sont en raison des débits en volume, et ceux-ci sont naturellement moindres avec la compression qu'avec l'aspiration.

Pour traduire cette influence par une formule, désignons par H la pression extérieure, et par h, h' les dépressions produites par les ventilateurs aspirant ou foulant. Les volumes comprimés ou dilatés seront, d'après la loi de Mariotte, dans le rapport :

$$\frac{H - h}{H + h'}.$$

Celui des travaux aura donc pour valeur :

$$\left(\frac{H - h}{H + h'}\right)^2.$$

En supposant, par exemple, que l'air extérieur se trouve à la pression normale $H = 10\,333$, et que l'un et l'autre des deux modes de ventilation fonctionne avec une dépression de 100 millimètres d'eau, ce qui est considérable, ce rapport devient :

$$\left(\frac{10\,233}{10\,433}\right)^2 = 0{,}96.$$

On voit ainsi que l'avantage en question atteindra difficilement une valeur de 4 %, et qu'il est, par conséquent, d'une importance plutôt théorique que pratique.

1066 — Les appareils soufflants présentent l'avantage de contribuer, par leur dépression, à tenir en respect les soufflards et les fumées des incendies, tandis que l'aspiration aide le mauvais air à envahir les travaux.

Mais il importe de remarquer que cet argument se retourne, avec beaucoup plus de justesse, en sens inverse, à l'avantage des ventilateurs aspirants. En effet, il importe moins de se préoccuper du temps de l'activité normale de la machine, pendant lequel on

reste maître d'en activer la marche en cas de besoin, que de l'instant d'un arrêt accidentel, résultant d'une avarie quelconque, et pour lequel on se trouve désarmé. Or, dans un pareil moment, le rétablissement spontané de l'égalité de pression, du dehors au dedans, aura pour résultat, avec la ventilation aspirante, de faire monter le manomètre dans les travaux, ce qui tendra à contre-battre d'autant les soufflards. Au contraire, la pression s'abaissera, avec les ventilateurs soufflants, en provoquant, en cet instant critique, une augmentation d'activité des dégagements.

Lorsque le baromètre baisse à l'extérieur, nous avons vu (n° 1009), quel que soit le degré d'importance que l'on veuille attribuer à cette influence, qu'elle agit dans le sens de l'invasion du chantier par le grisou. On se trouve donc nécessairement conduit à activer le ventilateur. Avec un appareil foulant, le résultat sera de surélever la pression, en compensant d'autant la baisse barométrique, et tenant en respect le mauvais air. Pour un ventilateur aspirant, au contraire, il sera d'augmenter le degré de vide, d'exagérer, par suite, les effets de la baisse qui est la cause de cette crise, et de provoquer l'air contaminé à sortir avec plus d'abondance des vieux travaux, sauf à le balayer ensuite. L'emploi des ventilateurs soufflants se présente donc, à cet égard, d'une manière plus rationnelle.

1067 — Le ventilateur soufflant est installé sur le puits d'entrée, et l'appareil aspirant sur le puits de sortie. Ce dernier se trouve ainsi dans le voisinage immédiat de la partie la plus souillée du courant d'air, et, par conséquent, plus exposé que le premier aux conséquences d'une explosion. Or la conservation de la machine d'aérage est d'une importance capitale pour le sauvetage, car on ne peut presque rien entreprendre, sans avoir préalablement rétabli la ventilation.

En revanche, si l'on imagine un ventilateur aspirant muni d'une fermeture hydraulique, on peut équilibrer cette dernière avec assez de précision pour que, appliquée sur son siège en temps ordinaire par l'influence de la dépression, la cloche s'enlève d'elle-même, en cédant à l'action des contrepoids, dès que cette dépres-

sion vient à être supprimée. De cette manière, si le ventilateur s'arrête, le puits se débouche de lui-même, et le courant d'air peut persister pendant quelque temps (n° 1103), ce qui constitue un précieux avantage.

Mais il existe enfin, en faveur des appareils aspirants, un dernier argument dont l'importance, au point de vue pratique, tranche en leur faveur la question; de telle sorte qu'en réalité la très grande majorité des ventilateurs de mines appartient à ce type. Nous avons vu (n° 1048) que la circulation doit être essentiellement ascensionnelle. Il faut donc envoyer l'air frais au pied du puits le plus creux. D'un autre côté, on sait également que le roulage doit se faire partout en descendant. Le puits le plus profond est donc celui d'extraction. Or, bien qu'il ne soit pas impossible de le clore au moyen d'une fermeture mobile (n° 1062), ce qui serait nécessaire pour l'installation d'un ventilateur soufflant, la gêne qui en résulte pour une extraction active, et les pertes d'air qui l'accompagnent, décident presque toujours en faveur de l'emploi d'un appareil aspirant, établi sur l'orifice du puits de sortie, en laissant libre celui d'extraction.

§ 3

FONCTIONS DU VENTILATEUR

1068 — *Réversibilité.* — Nous avons vu (n° 1048) qu'il peut, dans certains cas, être intéressant de changer à volonté le sens du courant, c'est-à-dire de transformer le ventilateur aspirant en un appareil soufflant, ou réciproquement. Certains ventilateurs ([1]) sont constitués de telle sorte qu'il suffit, pour cela, de renverser le sens de leur rotation. Ils sont dits alors *réversibles*. D'autres, au contraire ([2]), ne sauraient, sous aucun prétexte, tourner indifféremment dans les deux sens. Cependant tous, sans exception, peuvent remplir alternativement l'une ou l'autre fonction, au moyen d'un simple jeu de portes d'aérage.

([1]) Le ventilateur Fabry, par exemple.
([2]) Le ventilateur Guibal, par exemple.

Appelons en effet A l'espace où puise immédiatement le ventilateur, et B la région où débouche directement le courant auquel il donne naissance. En mettant en relation, par des couloirs convenablement disposés, A avec la mine, et B avec l'atmosphère, on obtient un ventilateur aspirant. Si, au contraire, on intercepte ces communications, en reliant, au contraire, A avec l'atmophère et B avec les travaux, on constituera un appareil soufflant.

1069 — *Arrêts.* — Le ventilateur ne doit être arrêté, dans une mine grisouteuse, que dans un jour de chômage complet de l'exploitation, et jamais pendant le séjour du personnel, même pour un court intervalle, tel que celui du repas des hommes. C'est à tort que l'on regarde comme inoffensive une suspension de mouvement d'un quart d'heure pour le graissage.

Avant de stopper, l'on devra prendre des mesures efficaces pour s'assurer qu'il n'y a plus personne dans la mine. Chaque arrêt accidentel de la machine doit être porté, dans le plus bref délai possible, à la connaissance des ingénieurs ou du maître mineur, afin qu'ils puissent veiller à la sûreté du personnel. On doit, en outre, toujours remettre en marche plusieurs heures (1) avant la rentrée du poste.

Les arrêts du ventilateur ne sont cependant pas dépourvus de toute utilité. Comme ils donnent lieu à une certaine saturation de de la mine, ils peuvent servir pour une détermination plus précise des points dangereux.

1070 — *Arrachage du grisou.* — On a proposé (2), pour assainir les houillères, de donner, de temps en temps, une chasse au grisou, de manière à ralentir ensuite sa production pendant un certain temps. En d'autres termes, il s'agit, après avoir fermé tous les débouchés, de déterminer, en activant le ventilateur aspirant, une dépression très marquée, qui fera sortir le grisou des pores de la houille et des vides des vieux travaux. On balaye ensuite cette

(1) Dix heures à Bessèges et à Lens.

(2) *Bull. min.*, 2e, IV, 292, Robert Éloin, pseudonyme de M. Wilfrid Creswick ; VI, 298. — *CRM*, mars 1876, 31. — *Les Mondes*, XXXIX, 605. — *Transact. NEI*, XVIII, 157.

exsudation à l'aide d'un courant général. Les vides ainsi expurgés se remplissent alors d'air pur, qui en ressortira progressivement par le jeu ordinaire des pressions, au lieu et place du mélange beaucoup plus souillé auquel ils auraient, sans cela, donné issue, si l'on ne l'en avait arraché.

Ce système n'a jamais été appliqué. Il est certainement de nature à provoquer beaucoup d'appréhension, par le trouble profond qu'il apporterait dans les conditions normales de l'aérage, le danger de la rentrée des hommes dans les travaux après une telle perturbation, la mise en liberté d'une grande quantité de grisou, peut-être insuffisamment lavé sur certains points, l'invasion du gaz des incendies dans les galeries, et ensuite les rentrées d'air capables d'aviver les feux, une pénétration analogue de l'oxygène dans le massif lui-même, provoquant l'échauffement et l'inflammation des charbons qui s'y trouveraient particulièrement prédisposés.

A l'énumération de ces dangers, il faut ajouter des craintes fondées relativement à l'efficacité du procédé. Il serait impuissant contre des soufflards proprement dits. Il semble également ne devoir exercer qu'une influence insignifiante sur les massifs qui recèlent le grisou sous des pressions énormes (n° 1002), tandis qu'on ne les solliciterait qu'avec une dépression insignifiante (n° 1022).

Les moyens d'exécution ont été cependant améliorés éventuellement par M. Francis Laur [1]. Cet ingénieur admet la présence de deux ventilateurs, l'un soufflant, l'autre aspirant, placés respectivement sur les puits d'entrée et de sortie, et capables chacun d'engendrer une dépression de 150 millimètres d'eau. En les faisant agir consécutivement, on déterminerait des chutes rapides de pression de 300 millimètres. Ce changement brusque provoquerait une *détente* du gaz, pendant un temps assez court, que M. Laur évalue à un quart d'heure. A cette période, succéderait un *brassage*, produit par la réouverture progressive des guichets qui avaient été fermés pendant la succion; enfin une *chasse*, effectuée par la remise en train du ventilateur.

[1] *Bull. min.*, 2ᵉ, VI, 293, 787. — *CRM*, 1879, 102.

M. Z. Blanchet [1] a également cru trouver, dans son appareil d'extraction pneumatique (chap. xxxv), un moyen d'arrachage, dont la puissance serait, en effet, hors de comparaison avec celle des ventilateurs.

1071 — *Ventilateurs à bras.* — Indépendamment des grands engins destinés à produire l'aérage général, sous l'empire d'un moteur à vapeur, on emploie des ventilateurs à bras, dont la manivelle est actionnée par des manœuvres [2]. Ces appareils sont destinés à l'aérage des culs-de-sac, au moyen de canars qui font communiquer la galerie du circuit principal avec le front de taille.

Il est essentiel d'exercer une surveillance attentive sur les hommes chargés de ce service. D'une part, ils peuvent se négliger dans cette besogne monotone, souvent exécutée dans l'obscurité, afin de ne pas maintenir, sans utilité réelle, une lampe dans le mauvais air.

En outre, lors même qu'on les suppose parfaitement consciencieux, on doit craindre qu'ils n'installent mal leur soufflerie, et ne fassent que brasser sur place l'atmosphère de l'ouvrage, au lieu de puiser, pour la renouveler, dans l'air du circuit général. Si le ventilateur est soufflant, il sera placé dans le courant même, à une petite distance en amont du branchement qu'il s'agit d'aérer. Un appareil aspirant se met à une faible distance en aval.

1072 — A l'inverse de la conclusion qui a été formulée pour les grandes machines d'aérage (n° 1067), il y a lieu, pour les ventilateurs à bras de préférer le système soufflant. La force vive de l'air qui débouche du canar, et s'épanouit dans le cul-de-sac, est alors mieux utilisée, en vue de pourchasser le grisou dans tous les recoins de l'avancement. Il serait plus difficile de l'en extraire, pour l'engouffrer par aspiration dans ce tuyau, particulièrement dans les remontées; d'autant mieux que lorsque l'avancement se

(1) *CRM*, mai 1876, 32; février 1878, 28.

(2) On a, dans certaines occasions, remplacé les hommes par de petits moteurs à air comprimé (Burat, *Pièces annexées* aux procès-verbaux de la Commission du grisou, 2e fascic., p. 6). On a également employé, à cet effet, l'électricité (Mathet, *CRM*, 1881, 101. — *Jahrbuch für das Berg*, etc., 1883, p. 30).

pratique à la poudre, le canar ne peut le suivre qu'à quelque distance, sans quoi il aurait trop à souffrir des coups de mine.

De plus, l'air qui parvient au front de taille est plus pur, puisqu'il n'a eu de contact qu'avec le métal, que s'il est arrivé par la galerie, en obéissant à l'appel exercé, à l'extrémité, par le tuyau. Il s'est alors chargé, en route, de tous les suintements gazeux des parois.

Enfin, nous avons déjà expliqué (n° 1043) qu'il vaut mieux, en thèse générale, établir les résistances sur la voie d'arrivée, et les larges sections sur celles du retour d'air.

1073 — En se plaçant à un point de vue diamétralement inverse, Favet a proposé un ventilateur à bras aspirant, qu'il appelait *anti-grisou*, judicieusement établi quant aux détails de sa construction. Dans ce système, on ferme l'entrée de l'ouvrage par une porte à guichet, pour empêcher que le gaz ne puisse en sortir librement. On capte ce dernier à l'avancement, près du plafond, dans le tuyau du ventilateur aspirant qui est placé derrière la porte, en dehors. Un second tuyau d'aspiration puise l'air frais à la sole de la galerie principale. C'est donc dans l'intérieur même de l'appareil que s'opère le mélange des deux fluides, qui sont ensuite rejetés dans la galerie, après que leur union a rendu le grisou inoffensif. La porte à guichet laisse, en outre, passer un filet d'air pur, qui, sollicité par l'aspiration exercée au front de taille, balaye tout le cul-de-sac, en conduisant les dégagements grisouteux jusqu'à la bouche d'aspiration, située à l'avancement.

Si cette opération, quand on la réduit ainsi à une action purement locale, paraît constituée avec intelligence, on doit, au contraire, condamner nettement [1] l'extension que son auteur avait prétendu lui donner, pour en faire la base de la ventilation générale, en multipliant, outre mesure, de tels organismes. Par la création de nombreux aérages particuliers, on augmenterait toutes les mauvaises chances qui résultent de ce système si précaire, acceptable seulement pour un cas particulier et attentivement surveillé.

[1] *Pièces annexées* aux procès-verbaux de la Commission du grisou, 1er fascic., p. 79.

§ 4

ORIFICE DE PASSAGE

1074 — *Ventilateurs volumogènes et déprimogènes.* — M. Murgue, dont les travaux ont jeté beaucoup de lumière sur ces matières délicates, partage l'ensemble des ventilateurs en deux classes, qu'il appelle *volumogènes* et *déprimogènes* (¹).

Dans les premiers, une série de cloisons mobiles vient découper l'atmosphère de la mine en tranches, qu'elles emprisonnent dans les compartiments compris entre elles et un coursier fixe. Puis elles les poussent le long de ce coursier, et finissent par les rejeter au dehors (²). Le vide que chaque tranche laisse derrière elle se trouve naturellement comblé par l'air adjacent, et celui-ci, à son tour, est remplacé de proche en proche aux dépens de l'atmosphère extérieure, qui est ainsi appelée à s'engouffrer dans le puits d'entrée. Le mouvement du fluide prend par là naissance. Comme, d'ailleurs, il ne saurait avoir lieu sans la production d'une différence de tension d'amont en aval, et que la pression d'amont se trouve déterminée et égale à celle de l'atmosphère, il s'ensuit nécessairement un certain degré de vide aux abords du ventilateur. Celui-ci a donc pour fonction immédiate d'engendrer un *volume* et, comme conséquence indirecte, une *dépression*. De là l'expression de *volumogène*.

Au contraire, dans les ventilateurs déprimogènes proprement dits, la communication peut rester continue, et géométriquement libre, entre la mine et l'extérieur, au lieu d'être, comme tout à l'heure, fermée par les palettes qui interceptent le passage. Mais le milieu gazeux est troublé dans son équilibre par les mouvements du mécanisme, qui ont pour résultat de le brasser énergiquement. Il prend, comme conséquence, une certaine gradation de tensions, dont

(¹) Harzé. Comparaison des ventilateurs à capacité variable et à force centrifuge (*Rev. univ. d. m. et u.*, 2ᵉ, I, 52).

(²) Dans toute la suite de ces explications, nous supposons, pour fixer le langage, que le ventilateur est aspirant.

le dernier terme est encore la pression de l'atmosphère extérieure, dans laquelle se déverse le courant. La dépression ainsi créée à l'autre bout détermine naturellement un appel dans les régions qui l'avoisinent et, par suite, un écoulement continu. Cette affluence sera abondante si la mine est large, plus réduite si elle est étroite en exagérant les résistances. Le ventilateur produit donc directement de la *dépression*, et celle-ci, à son tour, engendre, comme conséquence, un certain débit en *volume*. De là le nom de *déprimogène*.

Ajoutons que ces derniers sont de plus en plus en faveur, tandis que les volumogènes sont plus délaissés.

1075 — *Orifice de passage.* — Tout ventilateur, qu'il soit volumogène ou déprimogène, aspirant ou soufflant, constitue un encombrement pour le passage du courant. Il ajoute donc aux résistances à vaincre, en même temps qu'il constitue, d'autre part, l'agent destiné à les surmonter. On doit, par conséquent, dans le calcul de sa puissance, faire entrer en ligne de compte, indépendamment des résistances produites par la mine, celles qui sont propres à cette obstruction partielle.

M. Murgue ramène ce supplément de résistances au type uniforme de l'orifice équivalent, qu'il a introduit (n° 1028) pour résumer tout l'ensemble de celles que présente une mine. A côté de l'orifice a qu'aurait cette mine en supposant le puits débouché, il convient donc d'en envisager un second α, appelé *orifice de passage*, et qui est équivalent aux résistances accessoires occasionnées par l'installation de cet obstacle.

On peut déterminer expérimentalement cet élément, pour un ventilateur donné, en supprimant toute action motrice artificielle, et laissant les agents naturels (n° 1100) déterminer, à travers l'appareil au repos, un débit q_0, avec une dépression h_0, observés l'un et autre directement. On enlève, pour cela, les cloisons des volumogènes, mais il n'y a rien à changer pour un déprimogène. On évalue alors α par la formule (15, page 393).

$$\alpha = 0,38 \frac{q_0}{\sqrt{h_0}}.$$

On pourra éviter de démonter, ainsi qu'il vient d'être dit, les ventilateurs volumogènes, s'il est possible de mesurer, sur les deux faces de la palette, les dépressions h_1 et h_2 qui règnent dans ces régions, par rapport à la pression extérieure, tandis que la ventilation normale fait passer le débit q à travers l'appareil. On a, en effet alors, d'après la même formule [1] :

$$\alpha = 0,38 \frac{q}{\sqrt{h_1 - h_2}}.$$

1076 — Une fois que l'on a déterminé l'orifice de passage α du ventilateur, on possède l'expression de la portion Θ du travail qui est consommée par ses résistances propres. Nous aurons en effet. d'après l'équation (16, p. 394) :

$$\Theta = 0,14 \frac{q^3}{\alpha^2}.$$

On voit par là combien il est important d'élargir les passages pratiqués à travers le ventilateur, puisque la perte de travail qu'ils occasionnent est, pour un même débit, en raison inverse du carré de son orifice équivalent, c'est-à-dire de la quatrième puissance des dimensions de ces pertuis. Il sera donc plus rationnel, pour accroître l'efficacité de l'appareil, d'augmenter ses dimensions plutôt que d'exagérer sa vitesse ; cette dernière, en effet, n'influence en rien α, tandis que l'amplification générale des dimensions tend à faire croître ce paramètre. De là cet énoncé : *Un grand ventilateur, d'allure modérée, est préférable à un petit appareil surmené.*

Cette règle est surtout vraie pour les déprimogènes, car, pour les volumogènes, l'avantage réalisé se trouve en partie reperdu par l'augmentation que subissent, de leur côté, les fuites, en raison de l'amplification générale du système ; quoique les jeux qu'il est nécessaire de laisser, pour éviter les grippements, ne doivent pas,

[1] M. Murgue a effectué cette détermination pour deux ventilateurs du bassin houiller du Gard. La moyenne de ces mesures a été la suivante :

$$\alpha = 0^{m^2},38.$$

bien entendu, s'accroître proportionnellement aux dimensions de l'ensemble.

§ 5

VENTILATEURS VOLUMOGÈNES

1077 — *Théorie générale.* — Les fuites constituent, en effet, le défaut caractéristique des appareils volumogènes. L'ensemble des jeux laissés à dessein, ainsi qu'il vient d'être dit, entre les parties fixes et mobiles, peut encore être représenté par un orifice équivalent spécial, que nous représenterons par α'.

Appelons Q le volume, bien déterminé, qui est géométriquement engendré *par une révolution* de l'appareil, et que l'on peut toujours évaluer quand le mécanisme est complètement défini. Soit de même m le nombre de tours effectués *par seconde*. mQ représentera le débit en volume par unité de temps. Or ce total se compose du débit utile q à extraire de la mine, et, en outre, de celui des rentrées qui se produisent abusivement, et que l'appareil doit également *avaler*. Comme d'ailleurs la dépression aspire, en une seconde, le volume q par l'orifice a, qui représente la mine, elle fera passer à travers α' un volume proportionnel $q\frac{\alpha'}{a}$ (éq. 13, page 393). On aura d'après cela :

$$mQ = q + q\frac{\alpha'}{a},$$

et, par conséquent :

$$q = \frac{mQ}{1 + \frac{\alpha'}{a}}.$$

1078 — S'il s'agit, en premier lieu, d'établir un projet de ventilateur destiné à faire circuler, à une allure donnée m, un débit q assigné d'avance, on possédera ordinairement, au moins par approximation, d'après des observations antérieures faites sur le

type adopté, le rapport $\frac{\alpha'}{a}$. On déduira donc de là Q et, comme conséquence, les dimensions de l'appareil.

Si l'on demande, inversement, de déterminer α' pour un ventilateur déjà construit, on mesurera expérimentalement le débit q qu'il fait circuler, et l'on calculera, d'après ses dimensions, le volume Q qu'il engendre géométriquement dans une révolution. On connaîtra ainsi le volume $mQ - q$ des fuites, et, si l'on applique la formule (15, page 393), il viendra, pour la valeur de l'orifice équivalent (¹) :

$$\alpha' = 0,38 \frac{mQ - q}{\sqrt{h}}.$$

1079 — Le *rendement géométrique* d'un appareil volumogène est marqué par le rapport :

$$\frac{a}{a + \alpha'} = \frac{1}{1 + \frac{\alpha'}{a}},$$

puisque l'on est obligé de faire effectivement avaler par l'appareil un volume proportionnel à $a + \alpha$, pour extraire utilement, de la mine, une quantité représentée seulement par a.

Il convient, d'après cela, de n'appliquer qu'à des mines larges les grands volumogènes, qui présentent naturellement beaucoup

(¹) M. Murgue a donné (*Bull. min.*, 2ᵉ, IV, 774) un tableau de 17 ventilateurs volumogènes, pour chacun desquels il a déterminé expérimentalement l'orifice équivalent aux pertes. Le minimum de ces valeurs est de $0^{m^2},0053$; le maximum $0^{m^2},4400$; la moyenne arithmétique $0^{m^2},1687$.

Le minimum correspond à une vis hydropneumatique Guibal (nᵒ 1083). La fermeture hydraulique explique la faible valeur des fuites (débit par tour $Q = 42^{m^3},173$; diamètre intérieur $5^m,06$; diamètre du noyau $1^m,80$; longueur du pas $3^m,80$).

Le maximum est relatif à un gigantesque Lemielle (nᵒ 1082), ce qui motive l'exagération des rentrées (débit par tour $Q = 169^{m^3},030$; diamètre extérieur $7^m,100$; excentricité 0,818; hauteur $4^m,960$.

Celui de ces exemples qui se rapproche le plus de la moyenne arithmétique est un ventilateur Fabry (nᵒ 1081), dont l'orifice exact est pour les fuites : $\alpha' = 0,1674$ (débit par tour $Q = 22^{m^3},708$; rayon des ailes $1^m,70$; distance des axes 2 mètres; largeur 2 mètres).

de fuites, sous peine de n'en retirer qu'un mauvais fonctionnement.

1080 — Quant à l'évaluation de la puissance dynamique, on peut la faire de la manière suivante. Les fuites faisant rentrer, à travers leur orifice équivalent α', un débit $q\,\frac{\alpha'}{a}$, le travail consommé de ce chef aura (éq. 16, page 394) pour expression :

$$\Theta' = 0{,}14\,\frac{\left(q\,\frac{\alpha'}{a}\right)^3}{\alpha'^2} = 0{,}14\,\frac{q^3\alpha'}{a^3}.$$

Si donc on réunit à cette valeur le travail t de la ventilation proprement dite (éq. 16, p. 394), et celui Θ, qui est destiné à faire franchir l'orifice de passage (n° 1076), il viendra, pour la puissance totale T à fournir :

$$\mathrm{T} = 0{,}14\,q^3\left[\frac{1}{a^2}\left(1+\frac{\alpha'}{a}\right)+\frac{1}{\alpha^2}\right].$$

Pour passer de cette valeur à l'établissement de la machine motrice, on divisera T par le rendement présumé de cet appareil, et par le nombre 75 pour obtenir le nombre de chevaux nominaux.

1081 — *Ventilateur Fabry.* — Le ventilateur Fabry [1] est formé de deux roues identiques (fig. 665), réunies par des engrenages égaux qui tournent en sens contraires avec des vitesses égales. Ce sont, par suite, toujours les mêmes parties qui viennent en contact, à chaque révolution. Chacune des deux roues est formée de trois rayons [2],

[1] Callon, *Cours d'exploitation*, II, 462. — Ponson, *Traité* des mines de houille, II, 188. — *Supplément*, 346. — Devillez, *Traité de la ventilation des mines*, 402. — *Annales* des travaux publics de Belgique, XI, 273. — Serlo, Leitfaden zur Bergbaukunde, II, 308. — Weissbach, Maschinenmechanik, III, 1112.

La première idée de cet ingénieux dispositif dérive de la machine rotative de Murdock, publiée en 1799 (*History and Progress of the Steam Engine* by Elizah Galloway, 127).

[2] Ce nombre est réduit à deux dans le ventilateur Roots.

assemblés sous des angles de 120°. Ceux-ci présentent, à une dis-

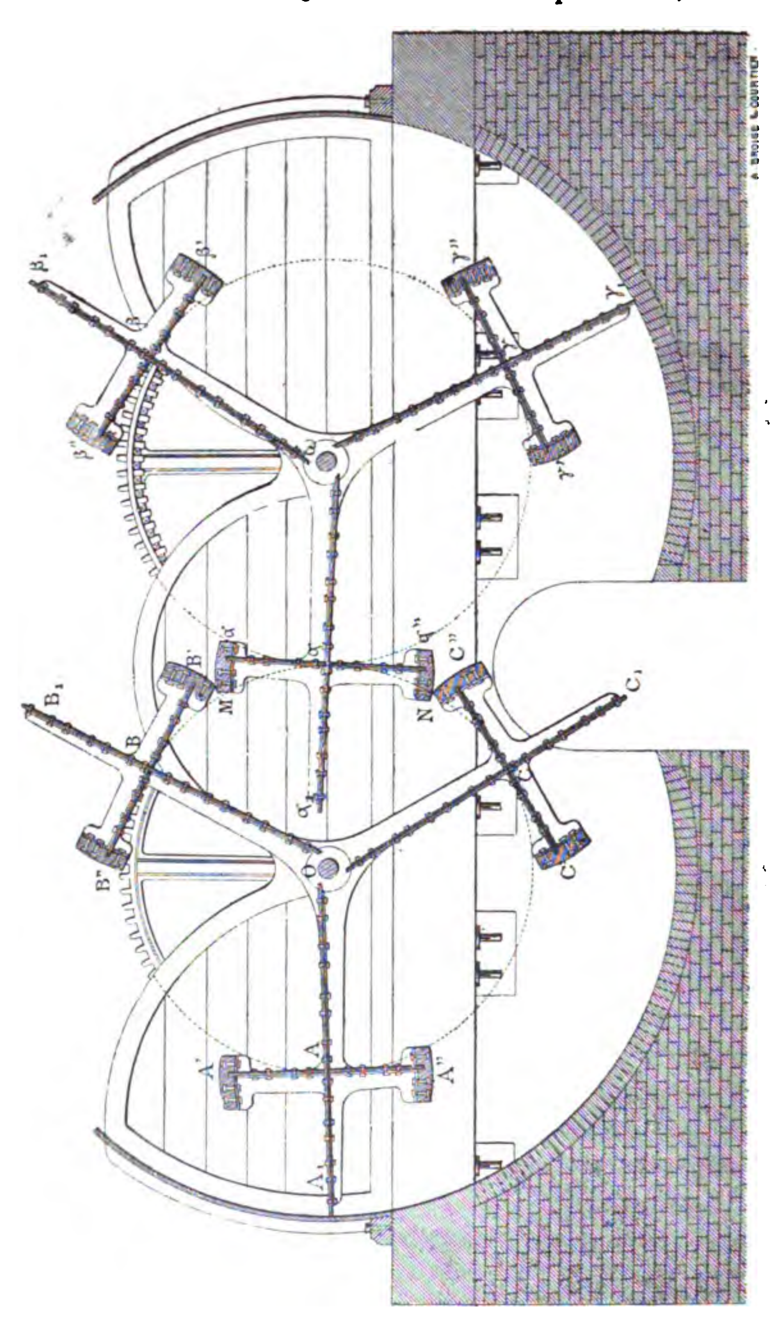


Fig. 665. Ventilateur Fabry.

tance du centre égale à la moitié de celle des axes de rotation, une double potence, et enfin chaque demi-potence porte une came curviligne. Les profils de ces dernières sont déterminés par la théorie des engrenages [1], de manière à rester en contact pendant le roulement des cercles primitifs. Les potences forment la tangente commune de ces derniers, pour la position dans laquelle les six rayons sont parallèles deux à deux. Les roues exécutent une partie de leur rotation à l'intérieur de coursiers concentriques en maçonnerie.

Dans ces conditions, le ventilateur constitue, pour le puits, une fermeture :

$$A_1OCC''N\alpha''\alpha\omega\gamma_1,$$

formée par le coursier, un rayon entier, un tronçon de rayon jusqu'à sa potence, cette dernière, et sa came jusqu'au point de contact avec l'autre came, puis les éléments correspondants du second arbre. Il y aura aspiration, si les roues tournent en se rapprochant par le haut, c'est-à-dire de C_1 vers A_1 et de γ_1 vers β_1. En effet, si l'on suppose que le corps de gauche se meuve d'une petite quantité, jusqu'à ce que C_1 s'engage dans le coursier, on achèvera d'isoler de l'atmosphère de la mine le secteur A_1OC_1. Si, en même temps, nous nous figurons les roues un peu avant qu'elles parviennent à leur position actuelle, elles ne se toucheront pas encore en M. En parvenant à ce contact, elles achèvent de séparer de l'atmosphère l'air renfermé dans l'espace :

$$OBB'M\alpha'\alpha''NC''C,$$

qui diffère très peu du secteur BOC, équivalent lui-même à AOC. On voit par là qu'un tiers de révolution aura pour résultat de rejeter au dehors le volume BOC, et de réintégrer à l'intérieur l'espace AOC ; d'où un excédent, dans le sens de l'expulsion, égal à AA_1CC_1 pour une seule roue. Pour un tour entier, et tout l'ensemble

[1] Haton de la Goupillière, *Traité des engrenages*, p. 5.

de l'appareil, on réalisera une quantité six fois plus grande, c'est-à-dire le double de la couronne, à savoir :

$$2\pi l\,(R^2 - r^2),$$

si l désigne la longueur des génératrices [1].

Le ventilateur Fabry est directement réversible, et devient un appareil foulant, si l'on fait tourner les roues de manière qu'elles se rapprochent par le bas, c'est-à-dire de A_1 vers C_1 et de β_1 vers γ_1. Alors, en effet, les grands secteurs seront introduits dans la mine, tandis que les petits en sont extraits. Le moteur à vapeur ne commande directement qu'une seule roue. La seconde est entraînée par l'engrenage.

Il convient de ne pas exagérer les dimensions ; sans cela, on s'exposerait à voir les surfaces hélicoïdales s'arc-bouter [2]. On préfère, quand cela devient nécessaire, installer, sur le même puits, deux ventilateurs de dimensions plus restreintes [3]. Le diamètre ne dépasse pas $3^m,50$ pour chaque roue, la vitesse 20 à 30 tours par seconde, le débit 12 à 15 mètres cubes par seconde, la dépression 20 à 40 millimètres d'eau seulement. Le rendement est d'environ 0,40.

1082 — *Ventilateur Lemielle* [4]. — Le ventilateur Lemielle (fig. 666 et 667) est monté sur un essieu coudé vertical O (fig. 668). On installe, autour d'un axe Ω excentrique par rapport au boisseau

[1] En scrutant de plus près cette évaluation, M. Trasenster (*Annales* des travaux publics de Belgique, XI, 259) a donné la formule :

$$l\,(6{,}2832\ R^2 - 6{,}8040\ r^2).$$

[2] Haton de la Goupillière, *Traité des mécanismes*, 384.

[3] On en a disposé quatre sur le même puits, à Marihaye (bassin de Liège).

[4] Callon, *Cours d'exploitation des mines*, II,466. — Burat, Matériel des houillères en 1866, 288. — *CRM*, 1872, septembre ; 1876, mai, 22, 25 ; juin ; 1877, février, septembre. — *Bull. min.*, 1re, III, 157, Lévy ; VI, 313, Lemielle ; X, 437, Laigneaux et Distinghin. — Ponson, *Traité d'exploitation*, 204. — Ponson, *Supplément*, I, 333. — Devillez, *Traité* de la ventilation des mines, 414. — Henri Glépin (*Rev. univ. d. m. et u.*, 1re, XXXIX, 1). — *Annales* des travaux publics de Belgique, XV, 24 ; XVI, 120. — *Zeitschrift BHS*, XIII, 183.

La première idée de ce dispositif dérive de la machine rotative de Cooke (1787).

circulaire CC_1C_2 décrit autour de O, un prisme hexagonal, dont la

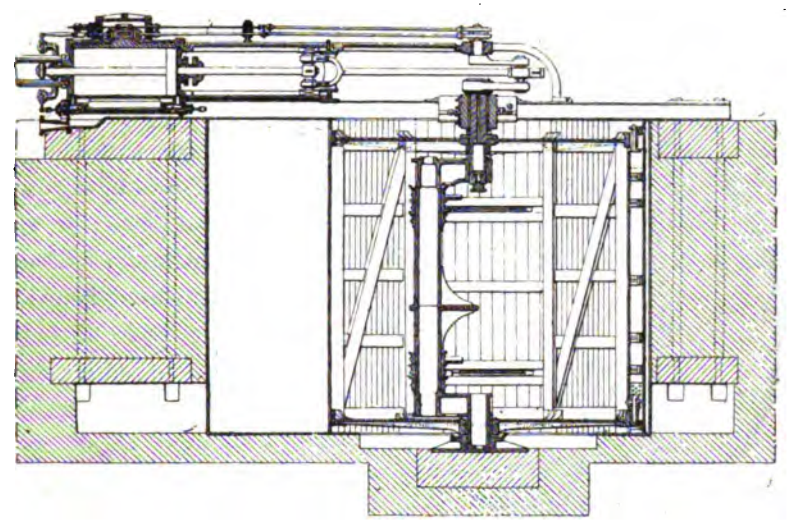


Fig. 666. Ventilateur Lemielle (coupe verticale).

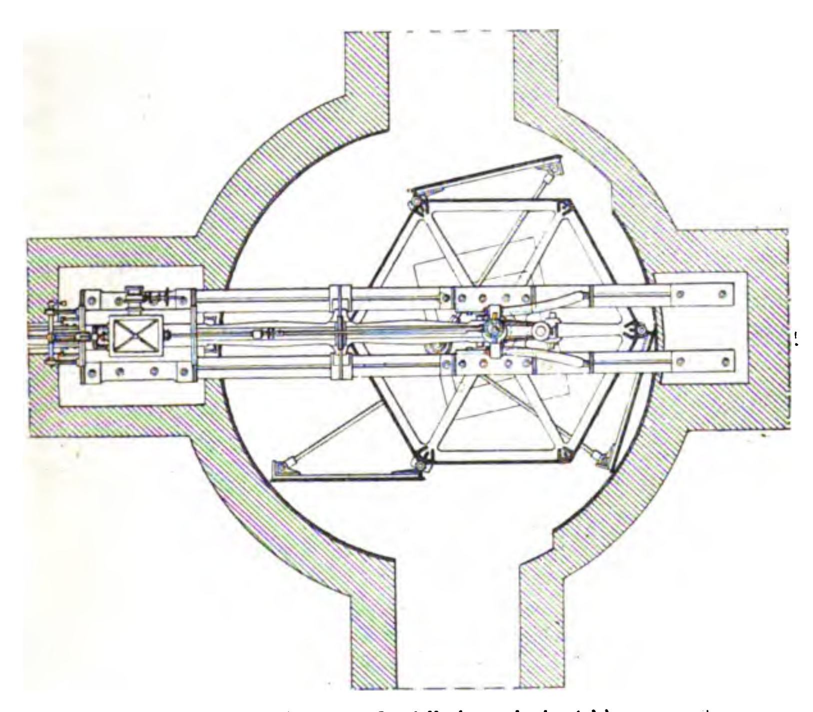


Fig. 667. Ventilateur Lemielle (coupe horizontale).

base $AB_1A_1B_2A_2B$ est inscrite dans un cercle tangent au premier, à l'extrémité K de la ligne des centres OΩ. Sur trois des sommets A, A_1, A_2, de l'hexagone, jouent à charnière des volets AC, A_1C_1, A_2C_2 égaux au rayon, et, par conséquent, aux côtés de l'hexagone; pouvant, par suite, se rabattre sur eux, ou s'en écarter plus ou moins. Pour les assujettir à raser le boisseau circulaire, on les relie au centre de ce boisseau à l'aide de liens OC, OC_1, OC_2 égaux à son rayon [1]. Le volet s'applique sur la face du prisme, quand leurs extrémités se confondent au point de tangence K. Leur angle, d'abord nul, s'accroît jusqu'à un certain maximum, puis décroît vers la fin de la révolution. Les valeurs actuelles de cet écartement sont figurées en BAC, $B_1A_1C_1$, $B_2A_2C_2$.

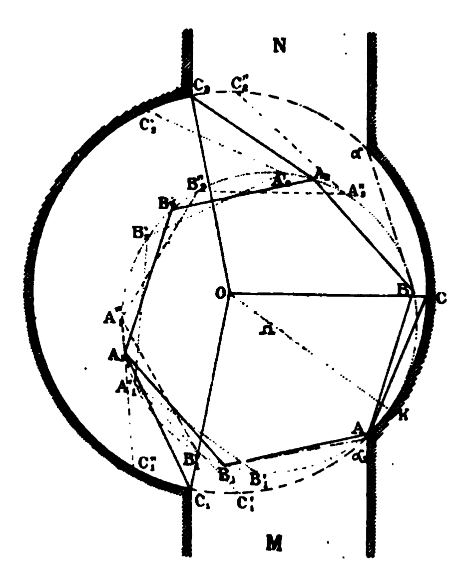


Fig. 668. Ventilateur Lemielle (diagramme schématique).

Dans la position représentée sur la figure, les ailes A_1C_1, A_2C_2 enferment complètement un certain volume d'air entre le boisseau et le prisme, en :

$$B_2A_1C_1C_1''C_2'C_2A_2B_2. \qquad (1)$$

Un peu auparavant, en :

$$B_2'A_1'C_1'C_1C_1''C_2'A_2'B_2',$$

[1] Les mouvements entre-croisés sont rendus possibles par le coude de l'arbre, et par des fenêtres ménagées dans les panneaux du tambour, pour le passage des tringles. On a soin de les fermer à l'aide de lèvres en cuir qui, tout en permettant la traversée, aveuglent autant que possible les fuites. Sans cela, un courant s'établirait en permanence par ces ouvertures.

cette capacité s'ouvrait en C_1C_1', du côté de l'air de la mine M. Un peu plus tard, en :

$$B_2''A_1''C_1''C_2'C_2C_2''A_2''B_2'',$$

elle débouchera en C_2C_2'', dans l'atmosphère extérieure N. On voit donc que l'appareil détache successivement, de l'intérieur, des capacités égales à (1). De même, il existe un moment où les ailes enferment, du côté opposé, un espace :

$$AB\alpha CK\alpha_1B_1A\,, \tag{2}$$

qui, ouvert un instant auparavant vers l'extérieur N, près de α, s'entr'ouvre un peu après vers la mine M, aux environs de α_1. Ce volume est donc, inversement, puisé à l'extérieur et rejeté du côté des travaux. C'est, par suite, en définitive, la différence des deux capacités (1) et (2) qui se trouve expulsée par chaque tiers de révolution.

1083 — Il est nécessaire d'observer, dans la construction de cet ingénieux appareil, une condition sans laquelle la rotation ne pourrait s'achever, et se trouverait limitée à deux positions extrêmes infranchissables. Suivons en effet, par la pensée, le quadrilatère articulé $O\Omega A_2C_2$. L'un de ses côtés $O\Omega$ est fixe, et il faut qu'à certains instants, les côtés adjacents OC_2 et ΩA_2 viennent alternativement se mettre dans son prolongement. Alors la figure prend la forme d'un triangle. Il est donc nécessaire, pour cela, que l'on ait successivement les conditions :

$$O\Omega + OC_2 < \Omega A_2 + A_2C_2,$$

$$O\Omega + \Omega A_2 < OC_2 + A_2C_2.$$

Mais la seconde aura lieu *a fortiori*, si la première est satis-

faite. Il suffit donc de conserver celle-ci, que l'on peut écrire :

$$e + R < 2r,$$

si R marque le rayon du boisseau, r celui du prisme, e l'excentricité. On a d'ailleurs, pour le contact des deux cercles :

$$R = r + e.$$

Si l'on substitue pour R cette valeur dans l'inégalité, elle devient :

$$r > 2e.$$

Telle est la condition de construction.

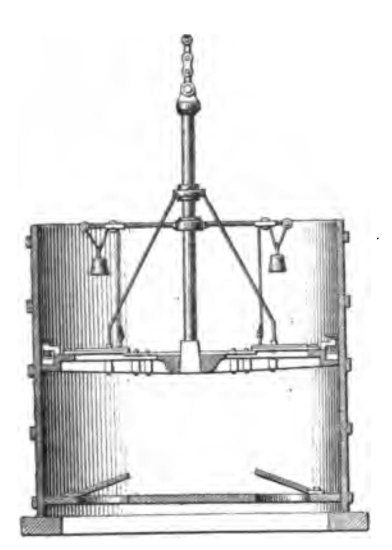
Le tableau suivant [1] indique les données relatives à un certain nombre de ventilateurs Lemielle :

[1] Dressé, ainsi que celui de la page 470, d'après les documents insérés dans l'Agenda Dunod des mines, 1882, 156.

DÉSIGNATION			DIAMÈTRE EXTÉRIEUR	DIAMÈTRE INTÉRIEUR	EXCENTRICITÉ	HAUTEUR	LARGEUR DES AILES	VOLUME ENGENDRÉ PAR TOUR	NOMBRE DE TOURS PAR MINUTE	DÉPRESSION ($^m/_m$ D'EAU)	VOLUME D'AIR PAR SECONDE	RENDEMENT	ÉLÉMENTS DU PISTON MOTEUR	
MINES	PUITS	DISTRICTS											DIAMÈTRE	COURSE
			mèt.	mèt.	mèt.	mèt.	mèt.	mèt. c.		millim.	mèt. c.		mèt.	mèt.
Page-Bank	»	Durham	7,10	3,82	0,82	10,00	»	»	8	95	33,30	»	»	»
Nord du bois de Boussu.	»	Belgique	7,10	5,00	0,84	5,00	2,50	163,50	15	91	30,66	0,49	0,80	1,60
Anzin.	Bayard	Nord	7,10	5,00	0,82	5,00	2,50	163,50	20	120	46,91	0,65	0,72	1,50
Levant-du-Flénu . .	»	Belgique	7,10	4,80	0,82	4,96	2,56	169,03	15	75	33,69	0,59	»	»
Lens	N° 3	Pas-de-Calais	7,10	5,00	0,80	5,00	2,50	163,50	10	70	16,00	»	0,80	1,60
Hornu	»	Belgique	4,30	2,86	0,50	7,00	1,50	86,96	22	77	27,35	0,50	1,42	1,83
Aniche	Dechy	Nord	3,90	1,36	0,50	3,47	1,45	42,89	26	160	16,15	»	»	»

1084 — *Ventilateurs volumogènes divers.* — Les machines pneumatiques à pistons ([1]), si bien adaptées aux convenances de la métallurgie, prennent une ampleur gênante, quand on les applique à la mise en mouvement des énormes volumes nécessaires pour la ventilation des mines. Si les clapets sont en nombre restreint, ils doivent devenir très grands pour livrer passage à de pareils débits. Ils sont dès lors très lourds, et ne se manœuvrent plus avec la promptitude et la netteté désirables. Aussi rencontre-t-on une tendance à multiplier de plus en plus le nombre de ces soupapes, en réduisant leurs dimensions. (Voy. n° 918.)

Un dispositif fort simple consiste (fig. 669) à conjuguer ensemble deux cylindres verticaux. Leurs pistons s'équilibrent mutuellement, par le moyen d'une chaîne de Gall passant sur deux poulies de renvoi. Sur le trajet horizontal de cette chaîne, s'intercale le cylindre à vapeur dont la tige, traversant les deux fonds, s'attache aux deux brins de la chaîne, qu'elle actionne de part et d'autre.


Fig. 669. Ventilateur à piston.

On peut aussi, comme dans le ventilateur Mahaut, avoir deux cylindres pneumatiques horizontaux. Le cylindre à vapeur est intercalé entre eux, et les trois pistons sont montés sur la même tige.

Le ventilateur Nixon ([2]) appartient encore à la catégorie des appareils à piston, avec 600 à 700 clapets.

La machine pneumatique du puits Hottinguer d'Epinac comprend, comme nous l'avons vu (n° 853), deux cylindres à air horizontaux, actionnés chacun par un cylindre à vapeur spécial, placé en prolongement avec la même tige. L'arbre d'un volant met les deux cou-

([1]) *Rev. univ. d. m. et u.*, 2e, I, 99.
([2]) Demanet, *Traité de l'exploitation des mines*, II, 168.— Callon, *Cours d'exploitation des mines*, II, 588. — Warington Smith, *La houille*, traduction de Maurice, 282.

ples en relation, au moyen de manivelles coudées à angle droit. Bien que ce puissant appareil, capable de développer au besoin mille chevaux de force, ne serve qu'indirectement à l'aérage (n° 860), ses fonctions essentielles n'en sont pas moins les mêmes que celles qui nous occupent en ce moment. Il s'agit toujours, en effet, de retirer l'air de la mine. Seulement les conditions sont ici bien différentes, surtout en ce qui concerne la valeur de la dépression.

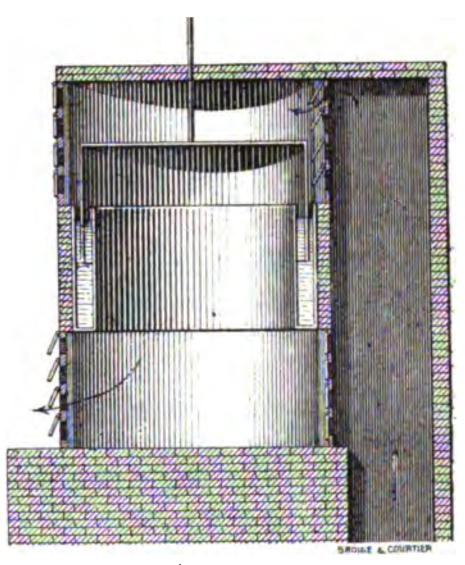


Fig. 670. Ventilateur Struvé.

1085 — Les cloches hydrauliques, d'invention fort ancienne, sont, encore aujourd'hui, représentées par le ventilateur Struvé (fig. 670). Elles consistent en une sorte de gazomètre plongeant dans l'eau, qui forme une fermeture étanche et sans frottement. La cloche s'élève et s'abaisse alternativement, en déterminant le jeu de nombreux clapets.

La vis hydropneumatique de M. Guibal (fig. 671) emploie également, comme fermeture, un bain liquide, mais seulement sur une partie de la circonférence. Elle reproduit à peu près le dispositif d'une vis hollandaise, que l'on supposerait couchée horizontalement. Le fluide s'y trouve porté d'un bout à l'autre du coursier, et un retour d'eau lui permet de revenir au point de départ. Ce transport constitue un inconvénient, en

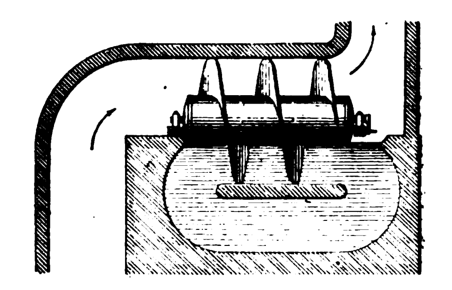


Fig. 671. Vis hydropneumatique Guibal.

raison du brassage qu'il détermine, et des résistances qui en sont la conséquence. De son côté, l'air est entraîné de la même manière dans la partie supérieure, mais il ne revient pas, comme l'eau, à son point de départ. Puisé à une extrémité de la vis, il se déverse à l'autre.

Je me bornerai à mentionner encore les ventilateurs volumogènes des ateliers de la Meuse ([1]), et ceux de Baker, Bell ([2]), Cooke, Evrard ([3]), Fournier et Levet ([4]), Nyst ([5]), Root ([6]) Schenk, etc.

§ 6

VENTILATEURS A FORCE CENTRIFUGE

1086 — *Généralités.* — Les appareils déprimogènes peuvent être rangés en deux catégories : les *ventilateurs à force centrifuge*, et les *ventilateurs à action oblique.*

Le ventilateur à force centrifuge ([7]) consiste en une roue de forme cylindrique, qui tourne autour d'un axe vertical, ou plus

([1]) *CRM*, 1876, novembre, 8.

([2]) *Engineering*, 7 mai 1875, 579.

([3]) Devillez, *Traité de la ventilation des mines*, 412.

([4]) *CRM*, 1882, 91.

([5]) *Rev. univ. d. m. et u.*, 1[re], VII, 326. — Cet appareil est analogue à celui des roues du propulseur à aubes parallèles (Haton de la Goupillière, *Traité des mécanismes*, 187).

([6]) *Engineering*, 15 juin 1877, p. 468. — Daniell, *Institution of mechanical Engineers*, 1875.

([7]) Combes, *Annales*, 3[e], XVIII. — Combes, *Traité de l'aérage*, Bruxelles, 1840. — Hirn, *Bulletin de la Société industrielle de Mulhouse*, 1847. — Morin, *Annales du Conservatoire*, II, 1862, 311. — Cabany, *Bull. min.*, 1[re], VI, 533. — Murgue, *Bull. min.*, 2[e], IX, 13. — Ordinaire de la Colonge, *Annales du Conservatoire*, 1869. — Tresca, Expériences sur le ventilateur de M. de la Colonge, *Annales du Conservatoire*. — Résal, *Annales*, 5[e], V, 456. — Sens, *Annales*, 5[e], XVII, 425. — Ser, *Mémoires de la Société des ingénieurs civils*, 1878 ; *Comptes rendus de l'Académie des sciences*, XCVIII, 783. — Tournaire, *Annales*, 5[e], XVII. — Commission du Gard, *Bull. min.*, 2[e], VII, 477, 713. — Devillez, *Ventilation des mines*, 138. — Harzé, *Rev. univ. d. m. et u.* — Vandenpeereboom, *Note sur les ventilateurs à force centrifuge*, Louvain, 1878. — Vandenpeereboom, *Observations sur les variations d'effet utile des ventilateurs à force centrifuge*, 1879. — Laguesse, *Rev. univ. d. m. et u.* — F. Brabant, Choix d'un ventilateur à force centrifuge (*Annales des travaux publics de Belgique*, XL). — Reuleaux, *Cinématique*, 424. — J. von Hauer, *Die Ventilations-Maschinen der Bergwerke*, Leipsick, 1870. — Rittinger, *Centrifugal-Ventilatoren*, Vienne, 1858. — E. Althans, Anwendung

souvent horizontal, parallèle aux génératrices de ses palettes. Celles-ci, en agissant sur les molécules d'air, leur impriment un mouvement dont les trajectoires les écartent du centre. Il en résulte que cette région centrale se trouverait peu à peu vidée d'air, si la pression de l'atmosphère qui environne le ventilateur ne s'opposait à cette extraction illimitée, et ne provoquait un antagonisme qui tend à refouler le fluide, en assignant une limite à cette raréfaction. De là un état d'équilibre qui, s'il avait une fois pris naissance, persisterait autant que le régime de la rotation.

Mais on a soin d'ouvrir, à travers l'une des *joues* de la roue [1], un orifice central, appelé *ouïe*, que l'on fait communiquer avec l'intérieur de la mine. Dès lors, l'air de cette région se précipitera par cette ouverture dans le déprimogène, où règne une tension moindre, et d'où il se trouvera successivement expulsé, ainsi qu'il vient d'être expliqué, en donnant naissance à un courant continu.

1087 — Pour augmenter la puissance de dépression de ces appareils, on a la ressource de les disposer en série, en les *faisant tirer l'un sur l'autre*. L'ouïe de chaque ventilateur communique alors avec le débouché du précédent [2].

Jusqu'ici ce principe très important n'a été appliqué qu'en superposant l'action de deux ventilateurs seulement (fig. 672). En doublant

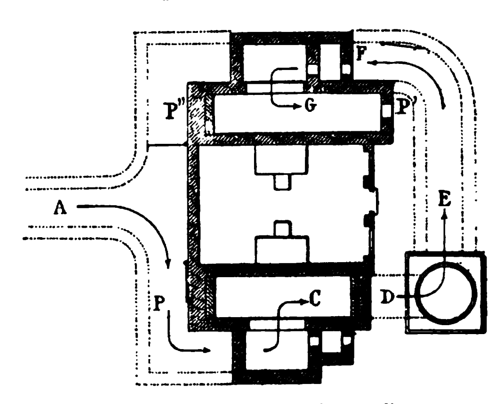


Fig. 672. Ventilateurs tirant l'un sur l'autre.

der Gesetze der Wetterbewegung auf Ventilator-Untersuchungen, *Zeitschrift BHS*, XXXII. — J. Meyer, Versuche mit Ventilatoren, *Œsterreichische Zeitschrift f. B. u. H.*, 1882. — Hausse, *Jahrbuch für das Berg und Hüttenwesen im Königreiche Sachsen*, 1882. — Commission anglaise des Ventilateurs, *Transact. NEI*, 1881.

[1] Parfois, quoique rarement, on dispose des ouïes sur les deux faces.

[2] *PA*, *Allemagne*, 202. — Harzé, *Rev. univ. d. m. et u.*, 2e, III, 754. — Demanet, *Cours* d'exploitation des mines de houille, II, 200.

ainsi la dépression, on augmente le volume dans le rapport de 1 à $\sqrt{2}$ (éq. 13, p. 393), c'est-à-dire de 40 $^{0}/_{0}$ environ. L'air arrive par les galeries A, B dans le ventilateur C. De là, il se rend par les passages D, E, F dans le second appareil G. Si, au contraire, on ferme la porte d'aérage P′, en ouvrant la cheminée D, on marche avec le seul ventilateur C. Si, de même, on ferme P et P′, en ouvrant la porte P″, on fonctionnera avec l'appareil G seulement.

1088 — A l'origine, la roue était à aubes planes radiales, et nue, sans enveloppe [1]. Combes y introduisit des ailes courbes, qui se raccordaient presque tangentiellement avec la circonférence extérieure. Cette combinaison, empruntée à la théorie des turbines hydrauliques, avait pour but de n'abandonner la molécule d'air qu'autant que possible sans vitesse absolue, afin de la dépouiller de la force vive qui lui avait été communiquée, et de diminuer d'autant la perte de travail. On atteint, en effet, *théoriquement* ce résultat, en opposant directement la vitesse relative (qui est en prolongement du dernier élément de l'aube), à la vitesse d'entraînement (tangente au cercle de rotation) ; de telle sorte qu'en rendant égales, d'après l'allure de l'appareil, les valeurs de ces deux vitesses, on obtienne une résultante nulle.

L'expérience n'a pas sanctionné cette manière de voir, et le résultat a mis en évidence la grande différence qui est due à la faible densité de l'air, comparée à celle de l'eau. Le fluide, ainsi déposé, sans vitesse à la circonférence de la roue, obéit alors, sans opposer par sa masse le moindre obstacle, à l'appel qui le sollicite à rentrer immédiatement en arrière de l'extrémité de la palette, dans le vide créé par le mouvement de cette dernière, en même temps qu'une nouvelle quantité d'air y pénètre par l'ouïe, sous la même influence. De là un trouble nuisible au rendement géométrique de l'appareil, et des tourbillonnements qui usent, en pure perte, la force vive produite par le moteur.

1089 — M. Létoret, pour remédier à cet inconvénient, enferma

[1] C'est ainsi qu'on le voit représenté dans les figures du Traité d'Agricola, *De re metallica*, édition de 1621, p. 162.

le ventilateur dans une enveloppe qui embrassait toute sa circonférence, sauf un orifice ménagé pour l'évacuation ([1]).

M. Guibal, par une vue très remarquable, compléta ce perfectionnement en adaptant à l'orifice un appendice, appelé *trompe* ou *cheminée* (fig. 673). Ce couloir, évasé sur une certaine longueur,

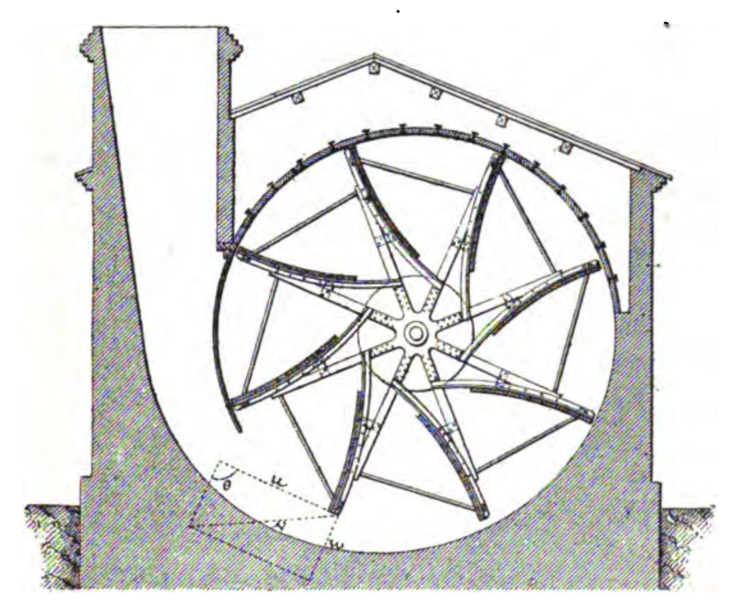


Fig. 673. Ventilateur Guibal.

a pour effet, en raison de l'élargissement de sa section, sans une variation appréciable de la densité, qui reste comprise entre des limites extrêmes aussi resserrées, de ralentir progressivement l'écoulement. On réduit ainsi finalement la force vive emportée par l'air, quand il quitte définitivement le ventilateur. Le résultat poursuivi par Combes se trouve donc atteint par une voie bien différente ([2]).

Pour ce motif, M. Guibal n'avait plus aucune raison de conserver la complication des aubes courbes, qui devenait sans but, puisqu'au lieu de se préoccuper d'annuler la vitesse au débouché de l'enve-

([1]) Glépin, *Ventilation des mines*, 1844, p. 46. — Ponson, II, 152. — *AP*, *Belgique*, 48. — Demanet, Traité d'exploitation, II, 183.

([2]) L'influence de la cheminée a été mise en lumière, avec la plus grande évidence, par des expériences de M. Devillez (Ser, *Mémoires des ingénieurs civils*, 1878, 655).

loppe, qui forme l'entrée de la trompe, on doit, au contraire, lui laisser une valeur suffisante pour dégorger nettement la roue; la restitution de force vive ne s'opérant que plus loin, dans la cheminée. Les palettes sont donc redevenues planes, sauf un congé de raccordement suivant la direction de l'entrée, destiné à présenter le premier élément de l'aube tangentiellement à la vitesse relative au sortir de l'ouïe, de manière à ce que l'introduction de l'air s'opère sans choc.

M. Guibal a encore, dans le même ordre d'idées, introduit un nouvel organe. C'est une vanne, installée au point d'insertion de la trompe sur l'enveloppe, et destinée à faire varier ce débouché. On arrive ainsi à le régler, de manière que la vitesse, qui se produit sur ce point, soit la plus convenable pour assurer le dégorgement aussi net que possible de la roue, en prévenant les rentrées en arrière, et les tourbillonnements qui en sont le résultat.

1090 — Au lieu d'une enveloppe avec cheminée unique, M. Harzé, dans son remarquable ventilateur, a disposé, autour de la roue, un *diffusoir* [1]. Il désigne sous ce nom (fig. 674, 675) une enveloppe d'une nature particulière, que l'on peut considérer en quelque sorte comme la *monnaie* de la trompe Guibal. En disposant ainsi, sur tout le pourtour, des débouchés évasés, on supprime le frottement de l'air entraîné inutilement le long de la circonférence jusqu'à l'entrée de cette trompe.

En revanche, on perd le bénéfice du fonctionnement de la vanne, et l'on est moins sûr de régler exactement le courant pour éviter les rentrées. De plus, les ailes deviennent beaucoup plus nombreuses, ce qui tend à diminuer la valeur totale de l'orifice de passage (nº 1075).

Telle est, pour la réduire à ses traits essentiels, la série d'idées fondamentales, dont la succession a progressivement amené le ventilateur à force centrifuge, de son état rudimentaire, au type excellent auquel s'attache aujourd'hui principalement le nom de M. Guibal. On doit adjoindre à cette nomenclature, d'après des nuances que je ne m'arrêterai pas à détailler, de nombreux systèmes

[1] Harzé, *Rev. univ. d. m. et u.*, 2ᵉ, I, 100.

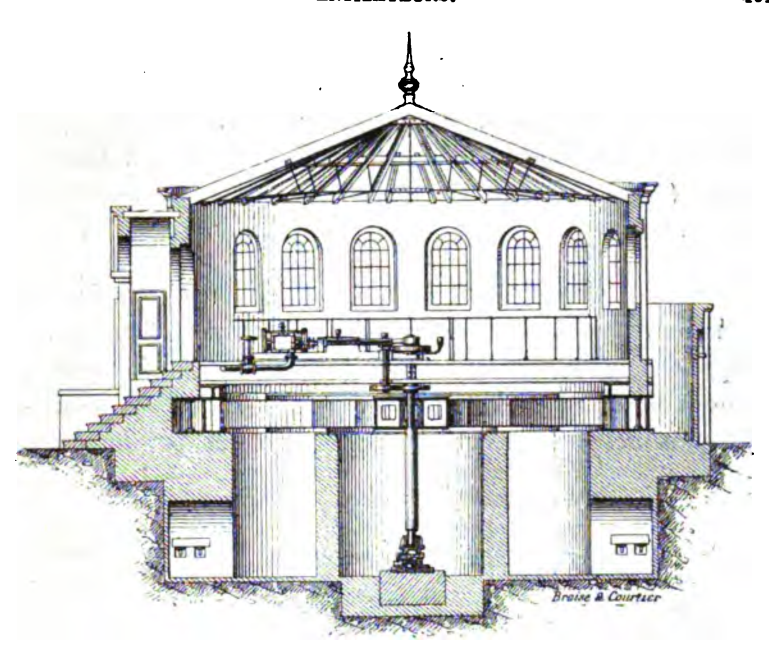


Fig. 674. Ventilateur Harzé (coupe verticale).

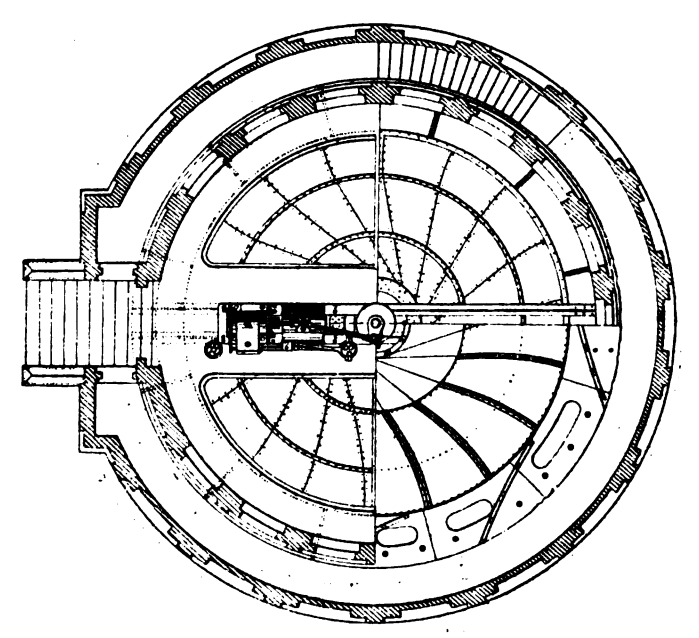


Fig. 675. Ventilateur Harzé (coupe horizontale).

tels que ceux de Audemar ([1]), Beer ([2]), Bourdon ([3]), Brunton ([4]), Duvergier ([5]), Eckard ([6]), E. D. Farcot ([7]), Favet ([8]), Galet ([9]), Gendebien ([10]), Gonther ([11]), Kraft ([12]), Lambert ([13]), Murphy ([14]), Nasmith ([15]), Reichenbach ([16]), Reisinger ([16]), Rittinger ([17]), Roger ([18]), Schiele ([19]), Sievers ([20]), Stevenson ([21]), Veillon, Waddle ([22]), Winter ([23]), etc.

1091 — *Théorie analytique.* — On peut préciser davantage ces notions générales, en empruntant le secours de l'analyse.

Appelons η_0 la dépression depuis l'intérieur de la mine, aux environs de l'ouïe, jusqu'à l'entrée des aubes, et v_0 la vitesse absolue avec laquelle l'air se précipite dans ces dernières, par un épanouis-

([1]) Burat, *Cours d'exploitation*, 227. — Type horizontal, effacé en terre, à joint hydraulique.

([2]) *PA, Belgique*, 52.—Ouïe double, petites dimensions, enveloppe et cheminée en tôle.

([3]) Palettes trapézoïdales.

([4]) Aminci en lentille.

([5]) Horizontal.

([6]) *Zeitschrift BHS*, V, 79.

([7]) *Moniteur industriel*, 15 novembre 1883, p. 376. — *Scientific American Supplement*, 23 juin 1883, p. 6221. — Ailes infléchies dans un sens opposé à celui qui est ordinairement adopté (n° 1092).

([8]) *Pièces annexées* aux procès-verbaux de la Commission du grisou, 1er fasc., 79. — Ventilateur *anti-grisou* (n° 1073).

([9]) Ailes courbes.

([10]) Gendebien, *Les ventilateurs de mines*. Bruxelles, 1882, p. 11. — Sortie directe et infléchie à angle droit sur toute la circonférence.

([11]) *PA, Angleterre*, 217.

([12]) *PA, Belgique*, 48. — Demanet, *Traité d'exploitation*, II, 183.

([13]) *Rev. univ. d. m. et u.*, 2e, I, 107. — Demanet, *Traité d'exploitation*, II, 180. — *CRM*, mars 1875. — Enveloppe tournant avec la roue.

([14]) Ventilateur américain, ailes courbes, deux parties solidaires ou indépendantes, à volonté.

([15]) *Pièces annexées* aux procès-verbaux, etc., 2e fasc., 264.

([16]) Dingler, *Polyt. Journal*, 194, p. 411. — Brosses remplaçant les ailes.

([17]) Ponson, *Supplément*, I, 394. — *Berggeist*, 1867, 46. — 62 palettes courbes.

([18]) Gurlt, *Bergbau und Hüttenkunde*, 3e édition, 78.

([19]) *PA, Angleterre*, 211. — *The Engineer*, 22 octobre 1880, 309. — Petit diamètre, grande vitesse, aminci à la circonférence, deux appareils symétriques accolés par la face opposée à l'ouïe.

([20]) *Glück auf*, Essen, 1869, n° 33.

([21]) *Engineering*, 28 février 1877, p. 177.

([22]) *PA, Angleterre*, 209. — Grand diamètre, aminci vers le bord, sans enveloppe.

([23]) *PA, Allemagne*, 203. — Très petit diamètre 1m,60; largeur 0m,30; rapidité considérable : 500 tours, pouvant être poussée à 700, ce qui représente une vitesse de 60 mètres par seconde à la jante.

sement symétrique dirigé suivant les rayons. On aura, entre ces deux éléments, la relation (éq. 10, p. 393) :

$$v_0^2 = 2g \frac{\eta_0}{\varpi}.$$

La vitesse d'entraînement u_0 de la roue est tangentielle au cercle de rotation, c'est-à-dire normale au rayon, ou à v_0. Quant à la vitesse relative w_0, elle forme la résultante du parallélogramme construit sur la vitesse absolue et la vitesse d'entraînement prise en sens contraire. On aura donc, dans ce rectangle :

$$w_0^2 = v_0^2 + u_0^2.$$

Suivons maintenant par la pensée, dans ce mouvement relatif, un mètre cube d'air, pendant le trajet qu'il accomplit à l'intérieur de la roue. Nous lui appliquerons le théorème des forces vives, en adjoignant aux forces réelles la force centrifuge, suivant les règles que fournit, à cet égard, la mécanique des mouvements relatifs. La masse de l'unité de volume ayant pour valeur $\frac{\varpi}{g}$, le premier membre de l'équation sera $\frac{\varpi}{2g}(w^2 - w_0^2)$, si w désigne la vitesse relative à la sortie. En appelant η la différence de pression entre les deux points extrêmes, le travail s'obtiendra (n° 1023) en multipliant cette dépression par le volume, qui est ici égal à l'unité. Quant à la force centrifuge, elle a pour valeur $\frac{\varpi}{g}\omega^2 r$, si ω marque la vitesse angulaire, et r le rayon variable à chaque instant. La projection du chemin parcouru sur la force est, d'après cela, dr, le travail élémentaire $\frac{\varpi}{g}\omega^2 r dr$, et son intégrale $\frac{\varpi}{2g}\omega^2(r^2 - r_0^2)$, ou, si l'on veut, $\frac{\varpi}{2g}(u^2 - u_0^2)$, en appelant u la *vitesse à la jante*. En réunissant ces divers termes, et divisant par $\frac{\varpi}{2g}$, on obtient l'équation :

$$w^2 - w_0^2 = 2g \frac{\eta}{\varpi} + u^2 - u_0^2.$$

A la sortie de la roue, la vitesse absolue v est fournie par la résultante du parallélogramme construit sur la vitesse à la jante u et la vitesse relative w. Celle-ci est dirigée en prolongement du dernier élément de l'aube, qui rencontre la circonférence sous un angle θ (fig. 673). On aura donc la relation :

$$v^2 = u^2 + w^2 - 2uw\cos\theta.$$

Si enfin nous appliquons le théorème des forces vives au mouvement absolu qu'accomplit le mètre cube d'air à travers la cheminée, le premier membre de l'équation sera $\frac{\varpi}{2g}(v_1^2 - v^2)$, si v_1 représente la vitesse avec laquelle l'air quitte la trompe à son débouché. Quant au travail, il se réduira encore (n° 1023) à la dépression η_1, qui se produit de l'entrée à la sortie de ce couloir; d'où la formule :

$$v_1^2 - v^2 = 2g\frac{\eta_1}{\varpi}.$$

Ajoutons maintenant ces cinq équations, en ayant égard aux nombreuses réductions qui s'opèrent entre les termes relatifs aux vitesses. En ce qui concerne les dépressions, nous remarquerons que la somme *algébrique* $\eta_0 + \eta + \eta_1$ exprime la différence qui existe entre les pressions extrêmes du trajet que nous avons suivi par la pensée, à savoir celles de la mine et de l'atmosphère extérieure. Ce sera donc $-h$, si h désigne la valeur absolue de la dépression due à l'aspiration produite par le ventilateur, laquelle constitue l'inconnue principale de la question. Il vient, par cette addition :

$$v_1^2 = 2u^2 - 2uw\cos\theta - 2g\frac{h}{\varpi},$$

et nous en déduisons cette relation fondamentale, pour exprimer la dépression que fournit le jeu de l'appareil :

$$(1) \qquad \frac{h}{\varpi} = \frac{u^2}{g} - \frac{v_1^2}{2g} - \frac{uw\cos\theta}{g}.$$

1092 — Cette équation montre que h augmente avec θ. Théoriquement, on pourrait aller ainsi jusqu'à $\theta = 180°$. Mais, outre que, pour cette limite abstraite, la section d'écoulement s'annulerait complètement, on peut penser que, pour des valeurs bien moindres déjà, les résistances passives développées par ce renversement de la courbure habituelle auraient entravé cette croissance. Pour ce motif, M. Murgue, dont les recherches ont beaucoup avancé les questions qui nous occupent, adopte comme type l'angle droit :

$$\theta = 90°,$$

auquel correspond la dépression spéciale [1] :

$$\text{(2)} \qquad H = \varpi \frac{u^2}{g},$$

et il y rattache la dépression effectivement obtenue, dans des conditions quelconques, par la formule :

$$\text{(3)} \qquad h = k\varpi \frac{u^2}{g},$$

en donnant au coefficient k le nom de *rendement manométrique* [2].

Cependant des expériences directes ont montré à M. Ser que, conformément à la théorie, on obtient encore un accroissement, en faisant croitre θ d'une certaine quantité au delà de l'angle droit. Elles ont été vérifiées par M. Tresca, qui en a fait l'objet d'un rapport. M. Emmanuel-Denis Farcot a de même renversé en avant la courbure des ailes de son ventilateur, de manière à prendre, pour la valeur de θ, un angle obtus.

[1] Si l'on admet pour ϖ (éq. 12, p. 393) la valeur 1,2, il vient :

$$H = 0{,}13\, u^2.$$

[2] Il est bien essentiel de ne pas confondre le coefficient ainsi introduit avec le *rendement dynamique*, qui sert à rapporter au travail dépensé le travail utilisé, ni avec le *rendement géométrique*, assez constant aux environs de la valeur 0,35 et qui est destiné à comparer le volume d'air effectivement débité, avec l'espace géométriquement engendré par la rotation des palettes. Le débit varie en effet (n° 1094), pour une

1093 — Les calculs précédents ne tiennent pas compte des résistances passives qui sont développées dans le trajet à travers l'appareil. Il faut, pour le faire franchir, un supplément h' de dépression, déterminé par son orifice de passage α au moyen de la relation (11, page 393) :

$$q = 0{,}65\alpha\sqrt{2g\frac{h'}{\varpi}}.$$

En même temps, ce débit q s'écoule à travers la mine, représentée par son orifice équivalent a, sous l'influence de la dépression h, d'après la relation analogue :

$$(4)\qquad q = 0{,}65a\sqrt{2g\frac{h}{\varpi}}.$$

mine déterminée, proportionnellement à la vitesse de rotation (Rapport de la Commission du Gard, *Bull. min.*, 2e, VII, 481).

M. Murgue a dressé (*Bull. min.*, 2e, IX, 46) un tableau de 58 ventilateurs, dont il a pu évaluer le rendement manométrique. Nous en extrairons les résultats suivants :

VENTILATEURS	NOMBRES d'observations	RENDEMENT MANOMÉTRIQUE		
		MINIMUM	MOYENNE	MAXIMUM
Sans enveloppe	19	0,090	0,327	0,496
Enveloppe sans cheminée	6	0,429	0,560	0,682
— avec cheminée prismatique.	5	0,284	0,491	0,626
— avec cheminée évasée	28	0,307	0,637	0,751
Ensemble	58	0,090	0,343	0,751

MM. Pernolet et Aguillon (*PA*, *Angleterre*, 209; *Belgique*, 49) ont indiqué, de leur côté, les valeurs suivantes pour 43 autres appareils :

VENTILATEURS	RÉGIONS	NOMBRES d'observations	RENDEMENT MANOMÉTRIQUE		
			MINIMUM	MOYENNE	MAXIMUM
Guibal	Angleterre	9	0,441	0,611	0,715
Guibal	Belgique	19	0,441	0,608	0,737
Waddle	Angleterre	3	0,378	0,413	0,456
Lambert	Belgique	3	0,312	0,394	0,455
Schiele	Angleterre	9	0,227	0,310	0,384

On déduit de ces deux égalités :

$$\frac{h'}{h} = \frac{a^2}{\alpha^2}.$$

C'est donc la dépression totale $h + h'$, c'est-à-dire $h\left(1 + \frac{a^2}{\alpha^2}\right)$, que doit effectivement réaliser l'action déprimante de l'appareil; et non plus seulement h, comme lorsque nous supposions le ventilateur sans résistance propre. Il s'ensuit que l'équation (1) et, par suite, la relation (3) qui en est la conséquence, doivent être modifiées, en y remplaçant h par $h\left(1 + \frac{a^2}{\alpha^2}\right)$. Il vient ainsi, en définitive :

$$h = \frac{k}{1 + \frac{a^2}{\alpha^2}} \varpi \frac{u^2}{g}. \tag{5}$$

On aura dès lors (4), pour le débit :

$$q = 0{,}65\sqrt{2}\, au \sqrt{\frac{k}{1 + \frac{a^2}{\alpha^2}}},$$

ou encore :

$$q = 0{,}92\, u \sqrt{\frac{k}{\frac{1}{a^2} + \frac{1}{\alpha^2}}}. \tag{6}$$

Telles sont les relations fondamentales (5) et (6) qui font connaître la dépression h et le débit q, pour une mine définie par son orifice équivalent a, et un ventilateur représenté par son orifice de passage α, ainsi que son rendement manométrique k.

1094 — En ce qui concerne l'influence de la vitesse à la jante u, ces équations montrent que, *pour une mine et un ventilateur donnés, le débit est proportionnel à cette vitesse, et la dépression à son carré.*

Quant aux coefficients de proportionnalité, le premier :

$$\frac{k}{1+\frac{a^2}{\alpha^2}},$$

constitue ce que l'on peut appeler le ***pouvoir déprimant*** du ventilateur par rapport à la mine d'orifice a.

Le second :

$$\sqrt{\frac{k}{\frac{1}{a^2}+\frac{1}{\alpha^2}}},$$

sera de même le ***pouvoir débitant***. On voit que ce pouvoir débitant d'un ventilateur déterminé sera faible pour les mines étroites.

1095 — En ce qui concerne l'influence propre de la mine, elle est plus complexe. Si l'on construit une figure représentative (fig. 676) en portant l'orifice équivalent a en abscisse (tout comme si cet orifice, de forme rectangulaire sur une hauteur constante, s'ouvrait progressivement par le tirage d'un registre) ; et si, en même temps, on élève en ordonnée soit la dépression h, soit le débit q, on obtient des courbes du troisième degré (éq. 5), ou du quatrième (éq. 6). Ce sont les *courbes caractéristiques* du ventilateur, propres à peindre aux yeux son adaptation, plus ou moins parfaite, aux différentes mines.

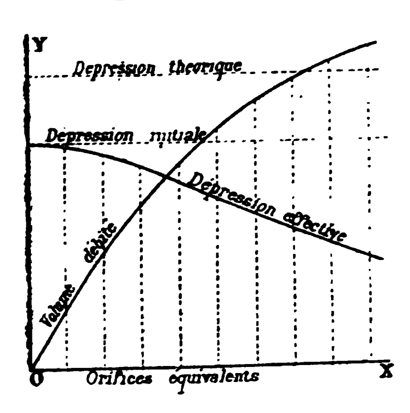


Fig. 676.
Courbes caractéristiques d'un ventilateur.

Avec une mine sans résistances, c'est-à-dire un orifice infini, on obtient une asymptote horizontale. Pour la courbe de dépression,

cette asymptote est l'axe des abscisses $h = 0$. Pour la courbe de débit, c'est une droite située à la hauteur $q = 0,92\ u\alpha\sqrt{k}$.

1096 — *Données numériques.* — Le ventilateur Guibal a été progressivement développé jusqu'à d'énormes dimensions : 15 mètres de diamètre, et une largeur de 3 à 4 mètres.

Sa vitesse *angulaire* peut aller alors jusqu'à 100 tours par minute, bien qu'elle soit ordinairement plus restreinte. Pour les diamètres de 2 à 3 mètres, on atteint 200 tours, et jusqu'à 800 tours pour les petits ventilateurs portatifs à air comprimé [1].

La vitesse *à la jante* varie d'une manière beaucoup moins prononcée. Tandis que des Guibal de 12 et 14 mètres de diamètre font 45 et 50 tours, avec des vitesses à la jante de 30 à 35 mètres, des ventilateurs de 6 mètres et 120 tours donnent 38 mètres de vitesse, et des Schiele de 3 à 5 mètres et de 150 à 200 tours développent des vitesses périmétriques de 25 à 40 mètres [2].

Le débit, dans des cas exceptionnels, approche de 100 mètres cubes d'air par seconde, et la dépression, de 20 centimètres d'eau [3], bien que ce dernier élément se limite, dans la pratique ordinaire, à un petit nombre de centimètres.

Le tableau suivant résume un certain nombre d'exemples effectifs, à titre de renseignements.

(1) Rapport adressé par la Compagnie de Blanzy à la Commission du grisou. In-4°, Paris, 1881, p. 7. — *CRM*, 1881, mai, 115.

(2) On a préparé, pour la houillère de Harris' Navigation, un Schiele de 4m,34 faisant 300 tours et développant à la jante l'énorme vitesse de 68m,15. On en attend une dépression effective de 172 millimètres, d'après le rendement manométrique ordinaire de ces appareils, la dépression théorique étant de 556 millimètres (*PA*, *Angleterre*, 212).

(3) Demanet, *Traité d'exploitation des mines de houille*, II, 198.

DÉSIGNATION			DIAMÈTRE EXTÉRIEUR	DIAMÈTRE DE L'OUÏE	LARGEUR	NOMBRE DES AILES	NOMBRE DE TOURS PAR MINUTE	VOLUME D'AIR PAR SECONDE	DÉPRESSION (m/m D'EAU)	RENDEMENT	PISTON MOTEUR	
MINES	PUITS	DISTRICTS									DIAMÈTRE	COURSE
			mèt.	mèt.	mèt.			mèt. c.	millim.		mèt.	mèt.
L'Espérance	»	Liège	12,00	4,00	2,00	10	50	»	84	»	0,72	0,60
Gosson	»	Id.	9,50	3,50	2,50	8	60	20,00	»	»	0,56	0,60
Normamby	»	Yorkshire	9,15	3,00	3,05	8	48	»	38	»	0,58	0,58
Produits	N° 20	Liège	9,00	4,00	2,00	8	54	»	57	»	0,40	0,60
Pelton	»	Durham	9,00	3,00	3,00	»	48	30,00	»	0,60	»	»
Rieu-du-Cœur	St-Amand	Belgique	9,00	3,00	2,00	»	95	34,65	152	0,58	»	»
La Louvière	»	Id.	9,00	3,00	2,00	»	90	24,80	150	0,51	»	»
Elsswick	»	Newcastle	7,30	3,00	2,15	»	65	»	»	»	0,61	0,51
Grand-Mambourg	»	Belgique	7,00	3,00	2,50	»	60	17,40	41	0,49	»	»
Cracket-Pickery	N° 7	Id.	7,00	3,00	1,70	8	85	23,75	80	0,61	0,60	0,50
Grand-Buisson	N° 3	Id.	7,00	3,00	1,70	»	74	24,44	63	0,66	»	»
Anzin	Thiers	Nord	6,50	3,25	,1,00	6	75	21,60	48	»	»	»

§ 7

VENTILATEURS A IMPULSION OBLIQUE

1097 — *Ventilateurs hélicoïdaux.* — Imaginons que les palettes planes du ventilateur à force centrifuge, au lieu de rester dans des plans méridiens, se placent obliquement par rapport à celui de la roue. La force normale qu'elles exercent sur la molécule d'air placée à leur contact, se décomposera en deux autres. L'une d'elles, dirigée dans ce plan, reproduira des influences plus ou moins analogues aux précédentes, et la seconde déterminera un courant longitudinal parallèle à l'axe de rotation.

Les effets centrifuges auront pour résultat fâcheux d'accumuler, aux environs de la circonférence, les quantités d'air voisines de l'axe et, par suite, de faire varier, dans l'étendue de la section, l'action déprimante due à la propulsion longitudinale. Aussi arrive-t-il que cette dernière influence se trouve en partie paralysée par les abondantes rentrées qui s'effectuent suivant l'axe, en raison de la raréfaction qui règne dans cette région.

Il convient de s'y opposer en recouvrant toute la partie centrale d'un opercule, et endiguant le courant entre deux cylindres concentriques, assez grands et assez rapprochés pour que l'on puisse, dans leur intervalle, négliger les variations dues à la force centrifuge. Le travail de cette dernière a, en effet, (nº 1091) la valeur $\frac{\omega^2}{2g}(r^2-r_0^2)$, et il suffira, pour cela, que r diffère peu de r_0. Entre ces deux enveloppes, sont disposées des aubes, qui seront souvent en forme de conoïdes droits, analogues à ceux de la turbine Fontaine. Le débouché est coiffé d'un diffusoir, semblable au système des contre-aubes directrices employées dans cette même turbine.

Dans ces conditions, nous obtiendrons les mêmes équations, sauf à tenir compte de l'approximation $u=u_0$. Les mêmes conséquences se reproduiront donc, sans qu'il soit besoin de rentrer ici dans ce détail.

Il convient seulement de dire que, dans la réalisation déjà

ancienne de l'action oblique, on n'a pas, en général, suffisamment eu égard jusqu'ici à ces indications d'une théorie qui n'avait pas

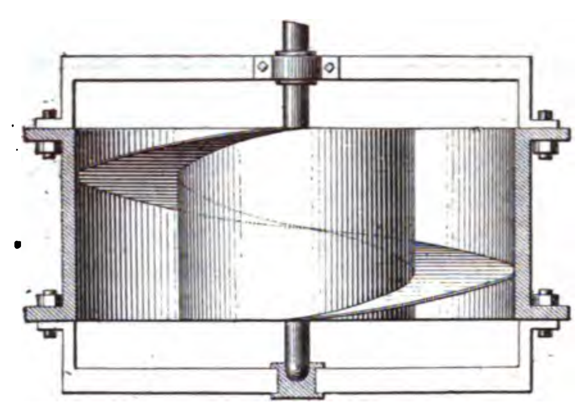


Fig. 677. Vis pneumatique.

encore été formulée, particulièrement en ce qui concerne le redressement des aubes, ainsi que l'addition d'un diffusoir. Aussi les rendements manométriques ont-ils toujours été assez faibles ([1]). Il est permis de croire que, complétés sous ce rapport, ces types pourront prendre plus d'importance. Ils présenteraient, au besoin, l'avantage d'une forme allongée, propre à être placée dans une galerie, et beaucoup moins exagérée dans le sens du rayon que les grands appareils envisagés ci-dessus.

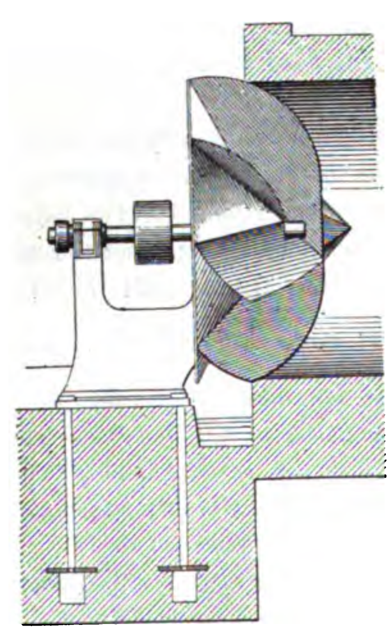


Fig. 678. Ventilateur Pelzer.

Le principe de l'action oblique a été réalisé (fig. 677) dans

([1]) M. Murgue a dressé (*Bull. min.*, 2e, IX, 65) un tableau de 19 observations de semblables ventilateurs, qui lui ont donné pour minimum 0,050; pour moyenne 0,146; pour maximum 0,230.

les vis pneumatiques de Motte (1) et de Pasquet (2), ainsi que dans les ventilateurs à ailes hélicoïdales de Davaine (3), de Lesoinne (4) et de Pelzer (5) (fig. 678).

1098 — *Avant-projet de ventilateur déprimogène.* — Nous pouvons indiquer maintenant comment on jettera les premières bases d'un projet de ventilateur déprimogène (6), destiné à faire passer, par seconde, un volume q, dans une mine définie par son orifice équivalent a.

Il faudra, pour cela, développer la dépression (éq. 14, p. 393) :

$$h = 0{,}14 \frac{q^2}{a^2}.$$

Comme elle est, du reste, reliée à la vitesse u par la formule (3) :

$$h = k\varpi \frac{u^2}{g},$$

on en déduit la vitesse à la jante :

$$u = 1{,}14 \frac{q}{a\sqrt{k}}.$$

On se donnera la valeur de k d'après les renseignements connus pour le type qui aura été adopté (7). Il régnera d'ailleurs, dans le choix de ce dernier (8), beaucoup d'arbitraire résultant, indépen-

(1) Ponson, II, 167. — *Annales* des travaux publics de Belgique, I, 226, 272.
(2) Ponson, II, 172.
(3) Sens, *Annales*, 1860.
(4) Ponson, II, 180.
(5) *CRM*, 1881, 175, 236. — *PA*, *Allemagne*, 206. — *Zeitschrift BHS*, XXIX, pl. XIX; XXX, 255.
(6) Les appareils déprimogènes sont ceux qui fournissent le meilleur rendement pour les mines larges, de même que les volumogènes pour les mines étroites (Commission du Gard, *Bull. min.*, 2e, VII, 728).
(7) Voy. n° 1092, note 2, et n° 1097, note 1.
(8) Ces types deviennent tous les jours plus nombreux. Nous en avons, à diverses reprises, cité déjà un très grand nombre, auxquels on peut encore ajouter les noms suivants : Cadiat, de Coster, Dulmer, Guérin, Lloyd, Perrigault, Pengeot, Rammel, Staib, etc.

damment des quelques raisons précises qui ont été formulées dans le cours de cette discussion, des préférences personnelles de l'ingénieur, et des habitudes des constructeurs de la région.

La valeur de u ainsi obtenue servira à fixer, avec un nouveau degré d'arbitraire (n° 1096), le diamètre et la vitesse angulaire.

1099 — Le ventilateur une fois déterminé, il reste à calculer le moteur qui doit lui imprimer le mouvement.

Le travail à développer théoriquement par unité de temps, est qh (n° 1023), c'est-à-dire (éq. 16, p. 394) :

$$0{,}14\ \frac{q^3}{a^2}.$$

On en déduit, en divisant par 75, la force en chevaux :

$$0{,}00187\ \frac{q^3}{a^2}.$$

Si donc λ désigne le rendement dynamique [1] propre au type adopté, la force nominale aura pour valeur :

$$0{,}00187\ \frac{q^3}{\lambda a^2}.$$

[1] M. Murgue a donné pour la valeur de λ les moyennes suivantes, qui comprennent, à la fois, l'influence des résistances passives du moteur et du ventilateur :

Action oblique	0,260
Force centrifuge, sans enveloppe	0,278
Enveloppe, sans cheminée	0,284
Enveloppe, cheminée prismatique	0,379
Enveloppe, vanne, cheminée évasée	0,467

Ce rendement varie, du reste, pour un même appareil, avec la mine à laquelle on l'applique, et il admet, pour chacun d'eux, un maximum. La Commission du Gard a fait, pour un certain nombre de ventilateurs, cette étude, dont elle a figuré les résultats au moyen de courbes représentatives (*Bull. min.*, 2°, VII, p. 724, pl. XXIII, fig. 12). La valeur la plus élevée qu'aient fournie ces expériences a été 0,52.

On annonce, d'autre part, le rendement 0,5663 pour l'un des plus grands appareils Guibal qui aient été construits jusqu'à ce jour. Il est installé sur le puits Usworth à Newcastle : diamètre, $14^m,25$; largeur, $3^m,80$; débit, $77^{m^3},50$; force, 115 chevaux.

CHAPITRE XLV

AÉRAGE SANS MACHINES

—

§ 1

AÉRAGE NATUREL

1100 — En dehors de l'*aérage mécanique*, auquel nous avons consacré le chapitre précédent, il existe un certain nombre de procédés pour l'*aérage sans machines*. Celui qui se présente le premier à la pensée est l'*aérage naturel* ([1]).

On appelle ainsi la ventilation qui naît spontanément de la configuration même des travaux, et de la disposition relative des points d'accès, par lesquels ils se trouvent mis en relation avec l'atmosphère extérieure. Ce principe présente évidemment, sur tous les autres, l'avantage de l'économie. Mais cette considération, malgré son importance incontestable, doit s'effacer, quand il y a lieu, devant celle de la sécurité.

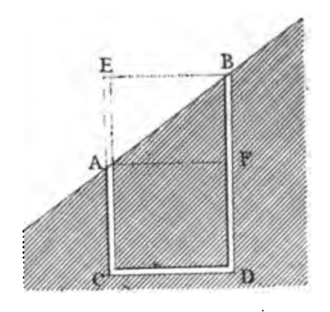


Fig. 679.

Réduisons, pour plus de simplicité, à deux points A et B (fig. 679), les orifices d'entrée et de sortie, et à ACDB la configuration intérieure des travaux. Nous prolongerons par la pensée en AE, dans le sein de l'atmosphère extérieure, le puits AC, de manière à con-

([1]) On oppose souvent à cette expression celle d'*aérage artificiel*, qui comprend, outre la ventilation mécanique, tous les autres procédés d'aérage sans machines.

stituer, pour l'ensemble, un tube en U plein d'air en ECDF. Les deux branches EC et FD étant égales, les densités des fluides qui les remplissent devraient être identiques, pour que l'équilibre fût possible. Or cette condition ne sera pas réalisée, en général, d'après les différences météorologiques de l'intérieur à l'extérieur. L'équilibre étant dès lors impossible, le mouvement prendra naissance de lui-même.

Si nous admettons provisoirement que les parties souterraines AC et FD se trouvent dans des conditions similaires, il restera seulement à comparer les colonnes d'air AE et BF. En été, l'air extérieur AE sera plus chaud et, par conséquent, plus léger que celui de la mine, qui remplit BF. C'est donc ce dernier qui, par son surcroît de poids, déterminera une circulation dans le sens BDCA. En hiver, au contraire, l'air atmosphérique sera plus dense que celui de la mine, dont la température, sans rester absolument constante, aura varié dans des limites moins étendues. Le courant se renversera donc, et prendra la direction ACDB.

Ce n'est du reste que pour simplifier, que nous avons fait, dans ce raisonnement, abstraction des hauteurs AC et FD, comme si elles étaient sans influence. En réalité, il ne saurait en être ainsi. En effet, l'air ne prend pas instantanément la température de l'intérieur, lorsqu'il y arrive du dehors. Il ne change que progressivement d'état. Il régnera donc une certaine différence entre les deux colonnes AC et FD, suivant qu'elles serviront à l'entrée ou à la sortie du courant. La profondeur des travaux exerce, par conséquent, une influence propre, indépendamment de l'action, plus directe, due à la dénivellation des orifices qui établissent leur communication avec le jour.

1101 — La circonstance caractéristique du phénomène que nous venons d'esquisser, consiste dans le changement de sens, de l'été à l'hiver ; inversion qui pourra même se produire un certain nombre de fois dans le cours de l'année, au moment des grands changements atmosphériques. S'il devait s'opérer d'une manière instantanée, ce renversement serait plus acceptable. Mais il est clair, au contraire, que l'on passera par un ralentisse-

ment, suivi d'une stagnation, et d'une mise en train, lente au début. En un mot, la mine se trouvera, pendant quelque temps, sans aérage; et justement lors des crises atmosphériques propres à surexciter, dans les gîtes grisouteux, les causes d'infection des travaux (n° 1009). C'est donc au moment où l'on aurait besoin d'agir avec un redoublement d'activité, que l'on se trouve absolument désarmé. Dans certaines mines, on voit, pendant les jours d'orage, le courant s'arrêter; l'air devient *lourd*, les hommes sont pris d'une sorte de faiblesse, et la production s'en ressent immédiatement.

Indépendamment des effets de cette stagnation, le renversement du courant présente encore d'autres inconvénients. Nous avons vu, par exemple, que l'on doit s'attacher à la circulation ascensionnelle (n° 1048), prescription qui ne saurait se concilier avec la possibilité des changements de sens.

Il arrive aussi quelquefois que les parties supérieures des houillères renferment d'anciens feux, qui donnent beaucoup d'acide carbonique. En hiver, l'aérage sera montant, et refoulera ce gaz; mais, en été, il tendra à le rabattre, en ayant, pour cela, l'aide de la densité de ce produit délétère, qui infectera les étages inférieurs.

Ces considérations montrent que l'aérage artificiel, avec ou sans machines, présente des chances de régularité et d'efficacité plus satisfaisantes que la ventilation naturelle. Si une avarie se déclare dans les appareils, on a le temps de faire sortir les hommes, pour remédier au dérangement et reprendre l'aérage avec plus d'activité. En outre, en dehors de l'hypothèse d'un arrêt accidentel, on a en mains le moyen d'activer la marche du courant, lorsque les circonstances le réclament. La statistique des accidents s'est montrée favorable à cette manière de voir, là où des moyens artificiels ont été substitués à l'aérage naturel.

1102 — On ne doit pas perdre de vue, que les influences atmosphériques que nous venons d'analyser, comme constituant l'agent unique de la ventilation abandonnée à elle-même, sont, de leur nature, inévitables. Elles ne cesseront donc pas de s'exercer, lors même que l'on intervient directement, avec des procédés artificiels,

pour la production du courant. Elles viendront en aide à ces moyens, ou s'établiront en antagonisme, suivant les circonstances. L'aérage naturel, qui reste souvent le seul agent employé pour l'assainissement des travaux souterrains, en constitue donc toujours un facteur, dont l'importance ne saurait être complètement négligée.

Son effet se combine avec celui de l'aérage artificiel, par l'addition algébrique de leurs dépressions :

$$h_1 = h \pm h',$$

suivant qu'ils agissent, ou non, en même sens. On a vu d'ailleurs (n° 1026) que la dépression est proportionnelle au carré du débit. C'est donc par leurs carrés que s'ajouteront les volumes, qui correspondraient individuellement à chacune de ces deux causes de ventilation, et l'on aura comme résultat :

$$q_1 = \sqrt{q^2 \pm q'^2}.$$

1103. — Le seul fait que la mise en mouvement de l'air des travaux a été déjà provoquée, par des causes accidentelles ou artificielles, pourra être un agent de prolongation spontanée de ce régime, si ces causes viennent à cesser de s'exercer. En effet, l'air qui entre à la température extérieure, différente de celle du fond, tend à se rapprocher progressivement de cette dernière, d'où il résulte, même pour deux puits d'égale hauteur, des différences entre les densités moyennes, qui sont incompatibles avec l'équilibre, et entretiendront, dès lors, la continuation de l'écoulement.

C'est à cette cause qu'il faut rapporter les observations, très discordantes d'ailleurs, qui ont été faites, dans divers cas, sur la prolongation de l'aérage après l'arrêt du ventilateur. Ces écarts s'expliquent naturellement par l'inégalité des conditions locales, dans lesquelles résident les causes efficientes de ce mouvement spontané. Parfois on l'a vu durer pendant six heures après l'arrêt de la machine [1] ; d'autres fois, il cesse presque instantanément.

[1] *Proceedings of the South Wales Institution of Engineers*, V.

Théoriquement, en l'absence de toute action motrice pouvant être rapportée à l'aérage naturel, et en raison seulement du *lancé*, cette durée devrait être infinie. En effet, la seule force retardatrice qui tende alors à réduire la force vive étant le frottement, que l'on peut considérer comme proportionnel au carré de la vitesse, l'accélération se réduirait à la forme :

$$\frac{dv}{dt} = - Av^2,$$

ce qui donne :

$$dt = -\frac{1}{A}\frac{dv}{v^2},$$

et, en intégrant :

$$t = \frac{1}{A}\left(\frac{1}{v} - \frac{1}{v_0}\right).$$

On doit donc faire $t = \infty$ pour avoir $v = o$. Mais il arrive, en même temps, si l'on effectue le calcul sur des exemples numériques, que la vitesse tombe, en moins d'une minute, à des valeurs insignifiantes [1].

1104 — *Cheminées d'aérage.* — On a essayé d'activer l'aérage naturel, en développant sa cause essentielle, qui est la différence de niveau des débouchés. Il suffit, pour cela, de surmonter le puits le plus élevé d'une cheminée d'aérage, qui en reporte l'orifice à une plus grande hauteur. Quelques-uns de ces édifices dépassent cinquante mètres [2], bien qu'ils soient ordinairement de dimensions très restreintes. Il est clair que ce moyen présente l'inconvénient de condamner absolument le puits à ne servir que de voie d'air, sans qu'il soit possible d'y installer aucun service.

Il est, en outre, facile de se rendre compte du peu d'efficacité de ce procédé, à mettre en parallèle avec les frais et les embarras dont il est l'occasion. Si, en effet, nous assimilons l'air intérieur

[1] Commission du Gard, *Bull. min.*, 2e, VII, 730.
[2] Ponson, *Traité des mines de houille*, II, 73.

à un liquide qui s'écoule par l'orifice A (fig. 679), sous la charge BF $= H$, sa vitesse sera proportionnelle à $\sqrt{H}$. Cette expression deviendra $\sqrt{H+h}$, si l'on surmonte le puits B d'une cheminée de hauteur h. Si donc on veut établir, entre la nouvelle et l'ancienne vitesse, un rapport m, il faudra poser :

$$\sqrt{H+h} = m\sqrt{H},$$

d'où il suit :

$$h = (m^2 - 1)H.$$

On voit par là, d'une part, que la hauteur de la cheminée doit être, pour un même effet à produire, proportionnelle à la dénivellation préexistante. Si donc il est intéressant d'augmenter ainsi, à peu de frais, l'influence d'une différence de niveau vraiment insuffisante, il serait déraisonnable de chercher à améliorer, par ce procédé, celles qui sont déjà notables par elles-mêmes.

D'un autre côté, la hauteur de l'ouvrage croît comme la fonction $m^2 - 1$, c'est-à-dire d'une manière très rapide, avec le degré d'efficacité m que l'on désire réaliser. Par exemple, pour doubler la vitesse, il faudra une cheminée d'une hauteur triple de la dénivellation proposée.

On a également employé ces cheminées, en Angleterre [1], pour augmenter l'effet des foyers d'aérage, à l'étude desquels nous arrivons maintenant. Quelquefois même, le puits sert en même temps à l'extraction. On garantit alors, autant que possible, les moulineurs des fumées, en soutirant la plus grande partie de celles-ci, un peu au-dessous de la recette, par un couloir surmonté d'une cheminée qui approche, dans certains cas, de 30 mètres de hauteur.

§ 2

FOYERS D'AÉRAGE

1105 — L'aérage naturel étant fondé sur une différence de température, on s'est trouvé logiquement amené à la produire d'une

(1) *PA, Angleterre*, 79.

manière artificielle à l'aide d'un foyer [1]. Cette combinaison se trouve d'autant mieux indiquée, que non seulement on a, dans les houillères, le combustible sous la main, mais que certaines sortes inférieures, difficilement acceptées par le commerce, et incapables de supporter des frais de transport, seront avantageusement utilisées de cette manière, en même temps que sur les grilles des générateurs à vapeur.

On appelait autrefois *toque-feu* (fig. 680) une corbeille métallique remplie de charbon incandescent, et suspendue, à l'aide d'un treuil et d'une chaîne, dans le puits de retour d'air. Quand le combustible était à peu près consumé, on remontait cette corbeille, pour la charger et la redescendre en place. La nécessité de ces manœuvres répétées empêchait d'installer le toque-feu à une grande profondeur. D'après cela, outre que cette combinaison présente un danger inacceptable dans les mines à grisou, elle est évidemment irrationnelle, car la vraie place du foyer est au fond du puits de retour d'air. En le mettant plus avant dans les travaux, on userait inutilement son influence par des résistances à vaincre dans le parcours horizontal, et l'on gênerait la circulation dans cette partie de la mine. En le plaçant plus haut dans le puits, on sacrifie gratuitement une partie de la hauteur qui produit le tirage.

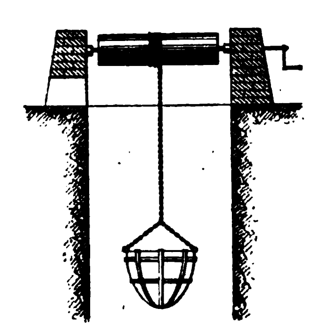


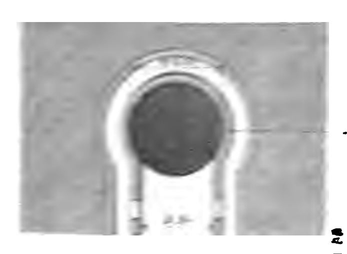
Fig. 680. Toque-feu.

1106 — Les foyers d'aérage (fig. 681) ont l'avantage d'être moins sujets aux dérangements que les appareils mécaniques. De plus, si une avarie vient à se produire, la chaleur emmagasinée dans les parois du foyer et du puits suffit à entretenir, pendant un certain temps, une ventilation efficace (n° 1103).

Il n'oblige pas d'une manière absolue à fermer un puits, comme le nécessite l'emploi des ventilateurs (n° 1061), bien qu'il y apporte

[1] Cet usage est ancien, et constaté déjà dans le dix-septième siècle (B. Fysen, *Sancta regia sive historiarum*, etc.).

[illegible] une grande [illegible]. On peut à la rigueur y installer [illegible] avec des tubes, des [illegible] et des [illegible] en [illegible] métalliques, pourvu que la température ne dépasse pas, dans le puits, 40 à 50 degrés. Mais [illegible] le plus [illegible] [illegible] qui [illegible] le puits.



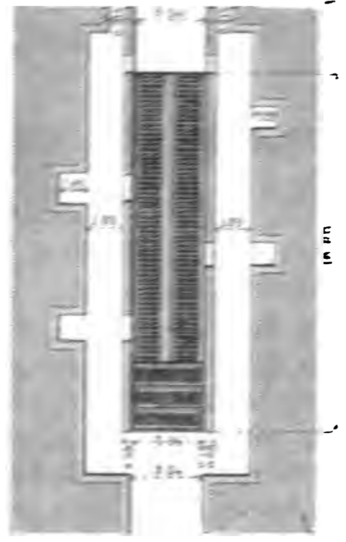


Fig. 461. Foyer d'aérage [illegible] coupe horizontale.

L'emploi des foyers est fort bien adapté aux mines larges. Pour ce motif, il est très répandu en Angleterre (1). Il convient beaucoup moins bien dans les exploitations qui présentent beaucoup de résistances, comme c'est le cas en Belgique, où l'on emploie presque uniquement les ventilateurs. Avec les mines larges, ils permettent d'obtenir des dépressions supérieures à celles que fournissent les ventilateurs dans les mêmes conditions. Le contraire a lieu pour les mines étroites.

1107 — On peut, en revanche, reprocher aux foyers les inconvénients suivants. D'abord leur effet n'est pas certain et géométrique, comme celui des ventilateurs volumogènes. Il dépend, dans une large mesure, de l'hygrométricité de l'air : l'influence de la vapeur d'eau tendant à abaisser la température. Il est souvent entravé par l'humidité des puits d'aérage, dont le revêtement doit être

(1) Si l'on prend comme exemple le district du South-Staffordshire, on y rencontre 478 exploitations aérées naturellement en temps ordinaire, et avec des tape-feux pour les jours chauds et lourds ; 64 foyers proprement dits ; 15 ventilateurs Guibal, 5 Waddle, 5 Rammel, 1 Schiele ; et 4 cas d'aérage par la vapeur perdue des générateurs.

soigneusement surveillé, pour empêcher les infiltrations de s'y établir.

Leur emplacement au fond de la mine rend leur accès difficile. quand il s'agit de rétablir le courant après un sinistre, tandis que les ventilateurs, placés au jour, sont plus accessibles. Les foyers sont également moins bien en main, lorsqu'il s'agit, dans le service normal, de donner un coup de collier. En outre, on peut toujours redouter des chances d'incendie, malgré la précaution, qui ne doit jamais être omise, de les établir dans le rocher et non dans la houille, d'écarter tout boisage, de les environner de maçonnerie, et même de doubles muraillements entre lesquels passe, comme réfrigérant, une partie de l'air de la mine.

1108 — Par-dessus tout, il faut signaler la contradiction manifeste de ce moyen d'action avec la présence du grisou. On doit, nonobstant toutes les précautions possibles, considérer ce choix comme téméraire dans un gîte franchement grisouteux. Une règle absolue consiste, dans toute mine suspecte, à n'alimenter le feu qu'avec de l'air pur amené directement du dehors, en établissant des systèmes de fermeture, qui assurent d'une manière certaine contre toute éventualité de l'accès de l'air intérieur sur les grilles du foyer.

Cependant, en Angleterre, on alimente avec ce dernier, en choisissant, parmi les divers courants, le moins contaminé. On profite, en outre, du voisinage ordinaire du puits d'entrée, pour couper le fluide vicié avec une partie de l'air pur. On admet, du reste, en raison des imperfections déjà signalées (n° 1046, note 2) dans la manière dont le courant se trouve guidé à travers les travaux, qu'une grande partie de l'air injecté quitte, à bref délai, le circuit, et revient, par le chemin le plus court, se mêler au retour d'air, qui se trouve ainsi sensiblement épuré en approchant du foyer. Cette proportion atteint souvent un quart, et approche parfois de la moitié.

Le rampant doit être assez allongé pour qu'en aucun cas les flammes ne puissent atteindre le puits dans lequel s'engage l'air grisouteux, et qu'il n'y arrive que des gaz chauds mais éteints. Il

faut, en même temps, donner à ce rampant une section suffisante pour y modérer la vitesse, qui tendrait à allonger la flamme.

On a mis en avant la crainte que, les cloisons protectrices venant à être emportées par un coup de feu, l'air vicié puisse affluer librement sur le foyer, et y déterminer une série de nouvelles explosions. Cette éventualité est, en effet, dans l'ordre des choses possibles, mais il convient de ne pas s'en exagérer l'importance. Un coup de grisou capable de détruire les constructions n'aura pas manqué de disperser les charbons incandescents, qui, dès lors, s'éteindront d'eux-mêmes.

1109 — Le tableau suivant [1] présente un certain nombre d'exemples numériques, relatifs aux foyers d'aérage. Toutefois quelques chiffres ont augmenté, depuis l'époque à laquelle ont été recueillis ces renseignements. A Hetton, par exemple, on arrive, avec quatre grilles, à lancer 115 mètres cubes par seconde. A Seaham, on approche de 150 mètres cubes. Certains foyers atteignent aujourd'hui 60 mètres carrés de surface de grille.

MINES	PROFONDEUR	DIAMÈTRE	SECTION du FOYER	VOLUME D'AIR		EXTRACTION JOURNALIÈRE	CHARBON brûlé PAR JOUR
				TOTAL	pour 100 tonnes		
	mèt.	mèt.	mèt. q.	mèt. c.	mèt. c.	tonnes	tonnes
Ryhope	464	»	7,42	42	2,1	1950	4,0
Eppleton	318	3,55	14,60	72	6,0	1200	10,0
Hetton	274	4,27	20,08	88	7,3	1200	19,6
Harton Hilda	274	3,66	8,94	46	2,9	1600	3,0
Oaks	261	3,28	4,70	67	9,5	700	7,0
Elemore	257	2,64	10,04	37	4,3	850	8,5
North Seaton	219	3,10	3,58	42	3,5	1200	6,6
West Sleekburn	210	2,70	5,02	14	1,3	1100	2,0
Seaton Delaval	183	2,40	»	40	3,3	1200	»
Cowper Hartley	180	3,60	»	33	3,9	850	2,5
Waldridge	135	»	»	22	3,4	650	»
Pelton	95	2,75	»	32	5,3	600	4,0
Townley	87	2,70	»	9	2,2	400	»
Netherton	60	2,40	4,46	»	»	650	3,2

[1] Dressé à l'aide des documents recueillis par M. l'ingénieur en chef des mines

§ 5

THÉORIE DES FOYERS D'AÉRAGE

1110 — *Relation entre la dépression, la température et la profondeur.* — Nous désignerons par t, t' les températures *absolues* (1) qui règnent dans les puits d'entrée et de sortie, supposés de même profondeur H. La loi de Gay-Lussac, applicable lorsque la pression reste constante, consiste en ce que le volume de l'air varie proportionnellement aux températures ainsi évaluées. La colonne d'air chaud, qui remplit le puits de sortie, deviendrait donc par le refroidissement $H\frac{t}{t'}$. Il s'ensuit que le puits d'entrée renferme en trop, pour l'équilibre, une hauteur d'air froid marquée par la différence, c'est-à-dire $H\frac{t'-t}{t'}$. La pression h qu'elle exercerait sur l'unité de surface, en l'exprimant, suivant l'usage, en kilogrammes par mètre carré, ou en millimètres d'eau, s'obtiendra en multipliant cette hauteur par le poids spécifique ϖ de l'air froid :

$$h = \varpi H \frac{t'-t}{t'}.$$

Du reste, d'après la loi de Gay-Lussac, ϖ se trouve, avec le poids spécifique 1,293 de l'air pur à la température 273 de la glace fondante, dans le rapport inverse des volumes, ou des températures absolues, ce qui donne :

$$(1) \qquad \varpi t = 1,293 \times 273 = 353,$$

et enfin :

$$(2) \qquad h = 353 \frac{t'-t}{tt'} H.$$

Coince, dans la mission qu'il a remplie en Angleterre pour la Compagnie d'Anzin.

On a ici converti certaines mesures, en supposant le poids de l'hectolitre de houille égal à 85 kilogrammes.

(1) C'est-à-dire celles que l'on évalue avec l'échelle centigrade, mais en reculant le zéro de sa graduation à 273 divisions au-dessous du point de la glace fondante.

Telle est la dépression que l'on crée, en élevant de t à t' la température de l'air, à l'aide d'un foyer d'aérage.

On peut, inversement, déduire de là l'échauffement $t' - t$ nécessaire pour réaliser une dépression déterminée. Si nous mettons, en effet, cette équation sous la forme :

$$\frac{th}{353\,\mathrm{H}} = \frac{t' - t}{(t' - t) + t},$$

on en tire immédiatement, en la traitant comme une proportion :

$$(3) \qquad t' - t = \frac{t^2}{353\,\dfrac{\mathrm{H}}{h} - t}.$$

Pour prendre un exemple, supposons une température ambiante de 15 degrés du thermomètre usuel, une profondeur de 400 mètres, et une dépression de 50 millimètres :

$$t = 15 + 273 = 288, \qquad \mathrm{H} = 400, \qquad h = 50.$$

La formule (3) nous donne :

$$t' - t = 32,$$

et, par suite :

$$t' = 288 + 32 = 320 = 47 + 273.$$

L'air chaud devra donc marquer 47 degrés au thermomètre ordinaire.

1111 — *Comparaison des foyers avec les ventilateurs* [1]. — La chaleur spécifique de l'air *sous pression constante* est 0,237. Ce nombre exprime la fraction de calorie qu'il faut fournir à un kilogramme du fluide, pour en élever d'un degré la température. Il

[1] Devillez, *Ventilation des mines*, 115.

en faudra, par suite, $t'-t$ fois davantage dans le cas actuel. Si donc on échauffe un volume q d'air froid, dont le poids est ϖq, c'est-à-dire (1) : $353\frac{q}{t}$, la quantité de chaleur nécessaire sera :

$$Q = 0,237 \times 353 q \frac{t'-t}{t},$$

ou, d'après la formule (3) :

$$(4) \qquad Q = 0,237 q \frac{t}{\frac{H}{h} - \frac{t}{353}}.$$

D'un autre côté, un ventilateur chargé de débiter le même volume q, sous la dépression h, devra développer théoriquement (n° 1023) un nombre de kilogrammètres marqué par qh. Admettons que le moteur qui lui communique le mouvement, fonctionne à raison de n kilogrammes de charbon par cheval et par heure. Un seul kilogramme de combustible fournira :

$$\frac{75 \times 60 \times 60}{n} = \frac{270\,000}{n}$$

kilogrammètres. Il faudra donc, pour effectuer le travail qh, consommer :

$$\frac{nqh}{270\,000}$$

kilogrammes de charbon. Si enfin ce combustible est capable de développer N calories par unité de poids, on réalisera ainsi la quantité de chaleur :

$$(5) \qquad Q' = \frac{nNqh}{270\,000}.$$

1112 — Imaginons un puits type, de profondeur H_0 telle que ces deux modes de production de la dépression h exigent le même

poids de combustible. Pour des hauteurs moindres : $H < H_0$, le foyer consommera plus que le ventilateur. L'avantage lui appartiendra, au contraire, pour des puits plus profonds : $H > H_0$.

Or, cette hauteur H_0 s'obtiendra en égalant entre elles les valeurs de Q et Q' :

$$0,237 q \frac{t}{\frac{H_0}{h} - \frac{t}{353}} = \frac{nNqh}{270\,000}.$$

On en déduit :

$$H_0 - \frac{ht}{353} = \frac{270\,000 \times 0,237}{nN} t,$$

et, par suite :

$$(6) \qquad H_0 = t\left(0,0028 h + \frac{66\,000}{nN}\right).$$

Si, par exemple, on admet les données suivantes :

$$t = 15 + 275 = 288^\circ, \quad h = 50^{mm.}, \quad n = 4^{kg.}, \quad N = 7000^{cal.},$$

il viendra :

$$H_0 = 717^m,$$

1113 — Il est nécessaire, toutefois, de faire observer que ces résultats ne constituent qu'une approximation. En effet, d'une part, nous avons supposé les températures constantes sur toute la hauteur des puits, tandis que t s'accroît progressivement dans le puits d'entrée, en même temps que t' tend à décroître dans celui de sortie, principalement par l'influence de l'humidité, qui est très variable d'un puits à l'autre.

En second lieu, l'élévation de la température, de t à t', n'est pas entièrement due à l'action du foyer. Une partie de cet échauffement se développe de lui-même, sous l'influence des conditions souterraines (n° 980), et n'est pas à la charge du combustible.

D'un autre côté, en tenant compte, par le nombre n, du rende-

ment du moteur à vapeur, nous avons laissé de côté celui du ventilateur lui-même, en supposant, malgré ses résistances passives, son énergie appliquée intégralement à effectuer le travail qh de la ventilation.

Enfin, dans cette théorie purement statique, nous n'avons pas eu égard aux résistances dynamiques de la mine, que résume son orifice équivalent. Cette dernière lacune est, de toutes, la plus fâcheuse, car elle laisserait dans l'ombre une des influences les plus essentielles ; mais nous allons revenir sur ce point de la manière suivante [1].

1114 — *Relation entre le débit et les résistances.* — Si nous appelons a_1 l'orifice équivalent de la partie de la mine comprise entre l'entrée et le foyer, il déterminera, par la relation (11), la dépression h_1 nécessaire pour faire franchir au courant cette portion du trajet :

$$h_1 = 0{,}12\varpi \frac{q^2}{a_1^2}. \tag{7}$$

En désignant par a_2 l'orifice équivalent du parcours dans le puits de sortie, eu égard à toutes les résistances qui s'y développent, il vient de même, pour la dépression de cette travée :

$$h_2 = 0{,}12\varpi' \frac{q'^2}{a_2^2}.$$

Mais on a d'ailleurs, d'après la loi de Gay-Lussac :

$$\varpi' = \varpi \frac{t}{t'}, \qquad q' = q \frac{t'}{t}.$$

d'où :

$$\varpi' q'^2 = \varpi q^2 \frac{t'}{t},$$

[1] Murgue, *Bull. min.*, 2e, IV, 704.

et, par conséquent :

$$(8) \qquad h_2 = 0{,}12 \, \frac{t'}{t} \, \varpi \, \frac{q^2}{a_2^2}.$$

La somme de ces deux dépressions consécutives constitue la dépression totale h, nécessaire pour effectuer la totalité du parcours :

$$h_1 + h_2 = h,$$

ou, en substituant les valeurs (2), (7), (8) :

$$0{,}12 \, \varpi q^2 \left(\frac{1}{a_1^2} + \frac{t'}{t} \frac{1}{a_2^2} \right) = 353 \, \frac{t' - t}{tt'} \, \mathrm{H}.$$

Si nous supprimons dans les deux membres les facteurs ϖt et 353, qui sont égaux d'après l'équation (1), il vient :

$$(9) \qquad q = 2{,}88 \sqrt{\frac{t' - t}{t' \left(\frac{t}{a_1^2} + \frac{t'}{a_2^2} \right)} \, \mathrm{H}}.$$

Telle est la relation propre à faire connaître le débit que procurera un foyer d'aérage, en fonction de la hauteur H du puits, des températures *absolues* t, t', et aussi des résistances de la mine, introduites à l'aide des deux orifices équivalents a_1 et a_2.

1115 — *Débit maximum.* — Cette formule permet de mettre en évidence une conséquence théorique, que des observations récentes tendent à corroborer. *Le débit d'un foyer d'aérage ne saurait croître indéfiniment, quand on y pousse l'échauffement au delà de toutes limites.* Il atteint, au contraire, un maximum, au delà duquel il ne ferait plus que décroître. Ce fait, fort curieux, n'a rien que de facile à comprendre, puisque l'on conçoit que l'élévation de température, en dilatant le gaz, crée des résistances qui peuvent finir par l'emporter sur le bénéfice réalisé.

Pour le constater, il suffit de considérer la partie variable de l'expression (9), que nous prendrons sous la forme :

$$\frac{1 - \frac{t}{t'}}{t' + t\left(\frac{a_2}{a_1}\right)^2}.$$

Si nous égalons à zéro sa dérivée relative à la variable t', il viendra :

$$\frac{t}{t'^2}\left[t' + t\left(\frac{a_2}{a_1}\right)^2\right] - \left(1 - \frac{t}{t'}\right) = 0,$$

c'est-à-dire, en effectuant :

$$\left(\frac{t}{t'}\right)^2 \left(\frac{a_2}{a_1}\right)^2 + 2\frac{t}{t'} - 1 = 0,$$

ou encore :

$$\left(\frac{t'}{t}\right)^2 - 2\frac{t'}{t} - \left(\frac{a_2}{a_1}\right)^2 = 0.$$

Cette équation du second degré ayant son dernier terme négatif, fournira deux racines réelles et de signes contraires, dont une seule sera acceptable :

$$\frac{t'}{t} = 1 + \sqrt{1 + \left(\frac{a_2}{a_1}\right)^2}.$$

1116 — Supposons, par exemple, les deux orifices a_1, a_2 égaux; c'est-à-dire un réseau souterrain pour lequel les résistances dues à la dilatation dans le puits de sortie compenseraient l'effet de la longueur parcourue en deçà. Il viendra :

$$t' = t\left(1 + \sqrt{2}\right) = 2{,}41\, t.$$

En admettant, pour la température ambiante .

$$t = 15 + 273 = 288,$$

il vient, pour celle de l'air chaud :

$$t' = 694 = 421 + 273.$$

Le débit maximum correspondrait donc à la température de 421 degrés du thermomètre usuel, ce qui revient à un échauffement d'environ 400 degrés :

$$t' - t = 406.$$

On voit, par cet exemple, que l'on se trouvera, en général, fort loin du maximum, dans les conditions ordinaires de la pratique. Cependant des expériences à outrance, exécutées à Dowlais, en 1868, par MM. Dickinson, Atkinson et Evans, ont constaté, pour cette mine, l'existence d'un maximum, aux environs de 316 degrés du thermomètre centigrade ordinaire.

§ 4

MOYENS DIVERS D'AÉRAGE SANS MACHINES

1117 — *Cheminées à air chaud.* — On a employé, pour des travaux préparatoires ([1]), les cheminées extérieures des chaudières à vapeur, en vue de déterminer un tirage dans la mine. Ce moyen, intéressant dans cette circonstance spéciale, serait évidemment anti-économique comme solution normale de l'aérage.

On a de même utilisé les gaz chauds dégagés par les fours à coke, dont le développement s'accroît naturellement avec l'importance de l'exploitation de la houillère elle-même ([2]).

([1]) Dans le bassin de la Ruhr, *PA*, *Allemagne*, 196. — Chansselle et de Loriol, *Bull. min.*, 2e, VII, 785.

([2]) Ponson, *Supplément*, I, 327.

1118 — *Calorifère.* — Pour assurer complétement le foyer d'aérage contre les chances d'inflammation du grisou, on a essayé l'emploi d'un calorifère (1), c'est-à-dire d'un appareil de chauffage dans lequel l'air chaud et l'atmosphère à échauffer restent séparés par des surfaces métalliques. Mais l'expérience n'a pas sanctionné cette tentative.

1119 — *Chauffage à la vapeur.* — En même temps que le calorifère à air chaud, on a essayé le calorifère à vapeur (2), en faisant descendre et remonter, dans des tuyaux non feutrés, le produit de générateurs placés à la surface. Il est clair encore que ce moyen n'est pas économique, puisqu'on peut le considérer théoriquement comme constitué par une infinité de toque-feux élémentaires (n° 1105), distribués sur toute la hauteur du puits.

Il convient d'ajouter toutefois que, dans le cas où des conduites se trouvent établies directement, en vue d'un but spécial étranger à l'aérage, on peut trouver, dans la chaleur perdue par ces tuyaux, un utile secours pour la ventilation.

1120 — *Injection de vapeur.* — On a obtenu un autre emploi de la vapeur, en l'injectant au pied du puits de sortie, pour y déterminer un tirage, à peu près comme dans la cheminée des locomotives (3).

Ce principe, déjà ancien (4), n'a reçu de réelle efficacité que par l'introduction des appareils à ajutages (5), tels que l'injecteur Kœrting (fig. 682). Il est loin néanmoins d'être économique en général, mais il peut le devenir lorsqu'il s'agit de vapeur perdues, après qu'elles ont accompli leur office spécial (6).

(1) A Seraing, en 1830 (Durieux, *Annales*, 3e, XI, 159) ; à Oberkirchen (Schaunburg-Lippe); et à la mine Laura (près Minden, Westphalie).

(2) De Vaux, 1836.

(3) John Hedley, *Traité pratique de l'exploitation des mines de houille*, p. 23. — *CRM*, avril 1876, 18.

(4) Buddle, 1807.

(5) *CRM*, 1876, mai, 34; 1877, février, 24; 1878, avril, 73. — *Rev. univ. d. m. et u.*, 1877, I, 109.

(6) Bassin de la Wurm.

Mentionnons toutefois, à l'actif de ce principe, un avantage précieux en cas de sauvetage. Nous avons vu que, la plupart du temps, le ventilateur est aspirant et, à ce titre, installé sur le puits de sortie. Son générateur se trouve par conséquent à portée de ce puits, et il est moins exposé que l'appareil lui-même, à être détruit par un coup de grisou. Si donc on a soin d'établir, à l'avance,

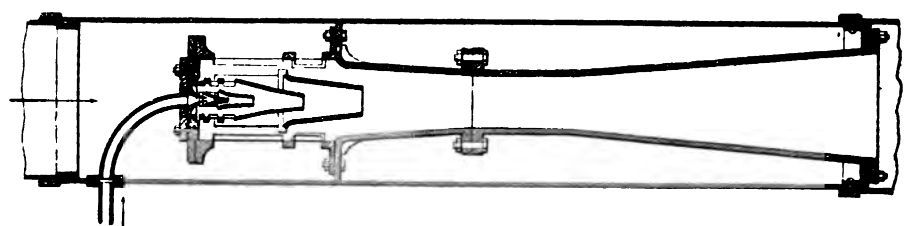


Fig. 682. Aspirateur Kœrting.

un tuyau, fermé à la partie supérieure par un robinet, et faisant communiquer la chaudière avec des tubulures placées au pied du puits, il suffira d'ouvrir ce robinet, quand le ventilateur sera mis hors de service, et l'aérage à vapeur fonctionnera dans le même sens qu'auparavant. Cette colonne de tuyaux doit être établie avec une grande solidité, et protégée, autant que possible, contre les effets destructeurs d'une explosion.

1121 — *Injection d'air comprimé.* — Le même principe peut être appliqué au moyen de l'air comprimé [1], si la mine est munie de

[1] M. Forster établit (*Jahrbuch für das Berg-und-Hüttenwesen in Sachsen*, 1882) les prix comparatifs suivants, pour un courant de 100 mètres cubes par minute, pendant un an, en supposant le prix de revient annuel du cheval-vapeur égal à 312 francs :

1° Air comprimé à 3 atmosphères effectives, circulant avec une vitesse de 10 mètres par seconde dans un tuyau de 0m,23 et s'échappant à pleine pression.	230 000 francs.
2° Air comprimé avec tubes de 0m,89 et souffleur Kœrting	37 000 —
3° Air comprimé actionnant une machine compound et un ventilateur Root, tubes de 0m,50.	9 000 —
4° Courant dérivé du ventilateur principal, dépression 10 millimètres, vitesse 2 mètres, tuyau de 1m,03.	5 200 —
5° Courant produit par un ventilateur spécial à grande vitesse placé au jour ; dépression 250 millimètres, vitesse 6 mètres, tuyaux de 0m,58.	9 500 —
6° Ventilateurs tirant l'un sur l'autre, pression 1033 millimètres,	

compresseurs. On sait avec quelle énergie les appareils à ajutages déterminent l'entraînement de l'air ambiant, à l'aide d'une dépense limitée d'air comprimé, qu'on lance suivant l'axe du souffleur [1].

L'injection d'air comprimé, par la simple ouverture des robinets de la tuyauterie des compresseurs [2], a été utilement employée [3] pour assainir l'avancement d'une galerie en percement; soit avant les coups de mine, pour refouler au loin l'atmosphère grisouteuse en la remplaçant par de l'air pur; soit après le tirage, afin d'activer l'évacuation des fumées. On obtient ainsi, en outre de cet assainissement, beaucoup de fraîcheur, peut-être même avec excès, en raison de la détente de l'air.

Cependant il importe de ne pas se faire illusion sur la véritable efficacité de ce procédé, qui ne saurait offrir, au point de vue du grisou, une véritable sécurité. Le mélange de l'air comprimé avec l'atmosphère qu'il doit balayer en arrière du front de taille, est, en effet, très imparfait. On aperçoit, dans une demi clarté, à travers la fumée blanche de la poudre, un jet noir qui sort des tubulures, et tombe en nappe sur le sol de la galerie, pour s'y écouler à la manière de l'acide carbonique, en raison de l'accroissement de densité qu'il doit à son refroidissement.

De plus, ce mode de ventilation ne répondrait pas au *desideratum* fondamental, qui a été formulé (n° 984) pour l'assainissement des mines, s'il s'agissait, comme on l'a proposé bien des fois à tort, d'y voir une méthode fondamentale d'aérage, et non une ressource accidentelle. En effet, ou bien l'on enverrait au front de taille, à la pression du compresseur, une quantité d'air égale à celle du mode ordinaire, et alors cette pression serait inutile, antiéconomique et gênante; ou bien l'on n'enverrait qu'une masse beaucoup plus restreinte, mais alors elle ne suffirait plus pour noyer,

vitesse 10 mètres, tuyaux de $0^m,45$. . . . . 18 000 —

7° Ventilateur souterrain avec transmission électrique, prix approximatif. . . . . 8 000 —

8° Ventilateur souterrain avec transmission hydraulique, tuyaux de $0^m,48$; prix approximatif . . . . 8 800 —

[1] Haton de la Goupillière, Rapport sur les expériences de M. Félix de Romilly, *Bull. Soc. d'enc.*, 3e, IV, 409.

[2] *CRM*, 1876, janvier, 34; 1877, février, 109; 1880, août, 180.

[3] Notamment à Brückenberg (Saxe), à Heinitz (Sarre), etc.

dans un grand volume d'air, les afflux de grisou, afin de maintenir le mélange très loin de la proportion explosive.

Ce moyen pourrait cependant, le cas échéant, rendre d'utiles services après un sinistre, si des dispositions spéciales étaient prises dans ce but, en ménageant de place en place, sur la tuyauterie générale de la mine, convenablement assurée contre les effets d'un coup de feu, des robinets, que l'on ouvrirait au fur et à mesure de l'avancement du sauvetage.

1122 — *Manches à vent.* — On a essayé de profiter de l'influence du vent, et spécialement de sa composante venticale (n° 1016), au moyen de manches à vent analogues à celles qui servent à ventiler la soute des navires [1]. Ce moyen est évidemment économique, et pourrait suffire, par exemple, pour un fonçage; mais il deviendrait tout à fait insuffisant, dès que l'exploitation prendra le moindre développement en surface et en profondeur. En outre, on se trouverait absolument désarmé pendant les calmes.

1123 — *Pluie artificielle.* — La chute de l'eau en forme de pluie constitue un moyen efficace d'aérage. On a souvent remarqué que les suintements qui se produisent, à la circonférence d'un puits en fonçage, y déterminent une aération naturelle, entrant comme une gaine suivant ce périmètre, et revenant du fond, en colonne centrale.

L'injection de l'eau dans les puits de mine placés en relation avec une galerie d'écoulement, était autrefois un procédé de ventilation assez répandu, pour des travaux de faible développement. On en rencontre encore des exemples. Il est bon que cette pluie présente le plus possible de régularité, au lieu de procéder par lames d'eau, plus ou moins déchirées.

On doit aujourd'hui restreindre le rôle efficace de cette méthode au cas d'un sauvetage. Mais elle peut alors rendre de très réels services. Il est bon, dans ce but, de préparer à l'avance un bassin de retenue, afin de n'avoir qu'un robinet à ouvrir, lorsque les

[1] Agricola, *De re metallica*, 1621, libro septimo, 159, 161. — Ponson, II, 76. — *Annuaire* de la Société des anciens élèves des Écoles d'arts et métiers, 1871-72.

appareils ordinaires sont mis hors de service par un coup de feu. On déterminera par là, en un instant, une pluie artificielle qui entraînera, dans les travaux, un courant d'air bienfaisant.

Nous rattacherons au même principe l'emploi des *trompes* (¹). Ces appareils, qui ont rendu certains services pour l'aérage des mines, doivent être cependant considérés aujourd'hui comme tout à fait surannés.

Il est, dans tous les cas, très essentiel d'éviter de mettre contre soi l'influence en question, en laissant des suintements importants s'établir à travers les parois du puits de retour d'air. S'il est impossible de calfater le revêtement d'une manière étanche, on devra s'attacher à recueillir l'eau le mieux possible (nº 272), et à la conduire directement au fond.

§ 5

ASSAINISSEMENT SANS AÉRAGE

1124 — Nous avons montré ci-dessus (nº 984) que le degré de contamination de l'atmosphère souterraine était représenté par une fraction, dont le numérateur serait formé de la somme des dégagements qui s'y produisent dans un temps donné, et le dénominateur, du volume d'air que l'on y envoie pendant la même durée. Les procédés d'assainissement examinés jusqu'ici dérivent tous d'une même préoccupation, qui est d'augmenter suffisamment le dénominateur de ce quotient. Mais on peut également se proposer d'arriver au même but, en diminuant le numérateur. Malheureusement, les divers principes qui ont été mis en avant à cet égard, se sont montrés, dans la pratique, d'une grande insuffisance. Il n'en est pas moins nécessaire de les indiquer, à la suite des précédents.

Il convient toutefois de faire remarquer, d'une manière générale, que cette catégorie de procédés, quand bien même elle renfermerait quelque méthode suffisamment efficace, ne résoudrait encore que partiellement le programme de cet assainissement.

(¹) Combes, *Exploitation des mines*, II, 504. — Archives de Karsten, XIX, 518. — Rittinger, *Maschinenbau*, etc., 1854, 21.

En effet, lors même que l'on parviendrait ainsi à prévenir, ou à détruire après coup, les émanations délétères, il resterait à suppléer à la perte d'oxygène (n° 983), et à remédier à l'élévation de la température (n° 981), double objet qui continuerait à nécessiter l'envoi de quantités importantes d'air frais.

En dehors même de cet obstacle, on comprendrait difficilement qu'un procédé déterminé s'attaquât avec une égale efficacité à toutes les sortes diverses de dégagements, que peuvent produire les roches et les conditions du travail. Il ne faut donc pas craindre de rappeler, comme préface de ce dernier ordre de considérations, que *la ventilation reste le seul moyen réel d'assainissement des mines*, en ajoutant que, parmi les nombreux procédés mis en avant pour la réaliser, *on ne peut compter pratiquement que sur l'aérage naturel, là où les conditions lui sont favorables; sur les foyers d'aérage, dans les mines non grisouteuses, et suffisamment larges; et, en toutes circonstances, sur l'emploi des ventilateurs.*

1125 — *Pénitent.* — Le seul moyen qui fût autrefois employé, pour rendre possible l'exploitation des houillères grisouteuses, consistait à faire épurer les chantiers, avant la descente du poste, par un homme prudent et courageux, qui payait souvent de sa vie son dévouement. Il était chargé de parcourir la mine avec une mèche allumée, à l'aide de laquelle il enflammait, au plafond, les accumulations de gaz, de manière à en débarrasser, pour un certain temps, les travaux. Pour se préserver lui-même autant que possible, il était recouvert d'un costume et d'un capuchon de cuir, qui lui avaient fait donner le nom de *pénitent* [1]. En approchant des points reconnus comme dangereux, il rampait à terre en élevant sa mèche. Quelquefois il organisait, à l'avance, des systèmes de fils de fer, sur lesquels il faisait, à l'aide d'une ficelle, courir, au moment voulu, un petit chariot boute-feu, en se tenant aussi éloigné que possible du théâtre de l'inflammation. Ce moyen barbare a disparu sans retour.

1126 — *Lampes éternelles.* — Un principe analogue se rencon-

[1] Gunther, *Berg-und Hüttenmännische Zeitung*, 1876, 93, 233.

trait dans l'emploi des *lampes éternelles*, allumées en permanence aux points d'accumulation présumée du gaz, et destinées à le consumer au fur et à mesure de sa production. Cette méthode, autrefois classique, est encore admise en Saxe.

Mais on doit la considérer comme extrêmement dangereuse; car un flux anormal et un peu abondant pourra élever la teneur du mélange jusqu'à un point où l'inflammation se propagera de proche en proche, et sera capable d'atteindre des régions explosibles.

De plus, ce système suppose évidemment une grande tranquillité de l'atmosphère, sans quoi le grisou, au lieu de s'accumuler au toit, pour se rendre sur la lampe, se noierait dans la masse d'air, d'où il ne se liquaterait plus (n° 993). Or, la combustion des lampes déterminera un tirage, et celle du grisou provoquera des secousses, qui favoriseront, au contraire, la diffusion des gaz. Ces inflammations, même restreintes, exposent en outre à un danger d'incendie.

On a proposé, pour diminuer le danger [1], des réservoirs dont la base, formée de toile métallique, isole à l'intérieur la combustion. La partie supérieure, de forme conique, communique avec un tuyau d'évacuation pour les gaz brûlés.

On a également mis en avant l'emploi de l'étincelle électrique [2], ou de la combustion spontanée qui se produit au contact du palladium [3]. Mais, avec des complications de plus, ces moyens seraient loin de procurer une entière sécurité.

Il est facile de comprendre que, les surfaces ne pouvant être dressées avec un soin minutieux, dans des tailles toujours en voie de déplacement, on ne serait jamais sûr d'avoir des feux dans toutes les anfractuosités capables de loger le grisou.

Mais il est une raison qui dispense de toutes les autres : c'est la complète insuffisance de l'effet produit, d'après les expériences de MM. Mallard et Lechatelier [4]. Ces ingénieurs, en mesurant la quantité de grisou brûlée par une lampe dans un temps donné, ont

(1) Giraud, *Berggeist*, 1865. — Sommer, *Berg-und Hüttenmännische Zeitung*, 1867, 81. — Hansell, *ibidem*, 297.

(2) Guido Kömer (*PA*, *Allemagne*, 69). — Mallard et Lechatelier, *Pièces annexées* aux procès-verbaux de la Commission du grisou, 2e fasc., 122.

(3) *Pièces annexées*, etc., 1er fasc., 150.

(4) *Pièces annexées*, etc., 1er fasc., 150.

reconnu que cette proportion est absolument insignifiante : environ 18 litres par heure ; de telle sorte que l'efficacité du procédé est à peu près nulle. La quantité de grisou capable de contaminer, par exemple, à la dose d'un centième, un débit de 20 mètres cubes par seconde, exigerait, pour sa destruction, environ 20 000 lampes.

1127 — *Captage.* — Au lieu de détruire chimiquement, par la combustion, le grisou qui s'est accumulé au toit des ouvrages, M. Minary [1] a imaginé de l'y capter, pour l'évacuer au dehors. Cet inventeur propose de tracer au plafond un système de rigoles et de puisards renversés, analogues à ceux que l'on ménagerait dans la sole pour l'eau. Ces cloches sont fermées par un plancher à claires-voies, destiné à gêner la diffusion. Des tubes de zinc, ouverts à la partie supérieure, y recueillent le gaz, qu'une canalisation spéciale conduit au jour.

Il est inutile d'énumérer toutes les objections que soulève cet énoncé. Il suffira de rappeler que la ventilation reste nécessaire (nº 981, 983) pour des motifs essentiels, étrangers à la considération du grisou. Elle produirait, dès lors, une agitation de l'atmosphère, incompatible avec les conditions nécessaires pour la réalisation de la conception précédente.

1128 — *Endosmose.* — Le même inventeur a mis en avant un phénomène, fort curieux par lui-même, bien que le procédé auquel il servirait de base, soit frappé de stérilité comme le précédent. Ce principe est celui de l'endosmose.

Des tuyaux en terre poreuse paraissent jouir de la propriété de déterminer, à leur intérieur, la condensation du grisou mélangé à l'air sur leur face externe [2]. M. Minary cite des expériences [3], dans lesquelles il a vu un mètre carré de surface poreuse tamiser, par heure, 700 litres de gaz. Le phénomène lui paraît s'effectuer proportionnellement à la densité.

(1) Ponson, *Supplément*, I, 397.
(2) Dingler, *Polyt. Journal*, CXXXVII, 407. — Voy. (nº 1171), ce qui concerne le grisoumètre Ansell.
(3) *Comptes rendus de l'Académie des sciences*, LXXXII, 619.

Il disposerait, d'après cela, de semblables conduites continues au plafond des galeries ; en même temps que deux ventilateurs, l'un aspirant, l'autre foulant, placés aux deux extrémités du réseau, y détermineraient le mouvement d'évacuation.

1129 — *Absorbants*. — On avait annoncé [1] que le chlorure de chaux absorbe le grisou, mais des expériences directes ont établi le contraire.

On a mis en avant [2] l'emploi de l'éponge de platine, pour condenser l'oxygène et le grisou, en déterminant une élévation spontanée de température, et la combustion lente du gaz. Il paraissait même nécessaire d'additionner d'argile la mousse de platine, pour éviter un trop grand échauffement. Mais l'inefficacité de ce procédé a été également constatée [3].

On a invoqué encore l'affinité énergique du chlore [4] pour l'hydrogène qui entre dans la constitution du grisou. Dans cette méthode, un mélange d'acide sulfurique et de chlorure de magnésium met en liberté du chlore, qui attaque l'hydrogène carboné, pour former de l'acide chlorhydrique, absorbé par un lait de chaux. Il est à peine nécessaire de faire remarquer qu'un programme aussi compliqué ne saurait être pratique. En outre, un excès de chlore serait pernicieux pour les hommes et les chevaux.

1130 — On peut faire remarquer d'une manière générale, qu'il ne semble pas y avoir d'utilité réelle, à insister dans la voie de la recherche d'absorbants supérieurs aux précédents. En effet, ces agents, quelle que fût leur efficacité, à moins de la supposer prodigieuse, ne pourraient être suffisamment répandus sur toute l'étendue des travaux souterrains, pour faire partout disparaître le gaz au fur et à mesure de son dégagement, et pour éviter qu'aucune partie, même restreinte, de l'atmosphère ne devînt grisouteuse.

En outre, leur action s'userait naturellement par la saturation

(1) Puncham (Ponson, *Traité d'exploitation*, II, 28).
(2) Aloys Wehrle, *Die Gruben Wetter*, Vienne, 1835, p. 35.
(3) Trasenster, *Annales* des travaux publics de Belgique, VII, 179.
(4) *Le grisou vaincu chimiquement* (cité dans le Traité de M. Dombre : *le Grisou*, 50).

progressive des affinités, et il en résulterait, pour leur renouvellement en temps utile, un assujettissement qui, très probablement, entraverait les services d'une manière impraticable.

Il resterait, d'ailleurs, à s'assurer, dans chaque cas, que ces absorbants si énergiques ne seraient capables, par eux-mêmes, d'aucune influence fâcheuse.

Citons cependant, dans cet ordre d'idées, l'utile secours que l'on trouve, pour lutter contre l'acide carbonique, dans l'emploi de l'injection de chaux en poudre, de lessive de potasse ou de soude, ou d'eaux ammoniacales, lorsqu'il s'agit de rentrer d'urgence, pour un sauvetage, dans une cavité envahie par ce gaz redoutable.

1131 — *Contre-pression.* — Les divers expédients que nous venons de passer en revue, ont pour but de faire disparaître les produits délétères de dégagements déjà effectués. On a eu enfin l'idée [1] de supprimer ce dégagement lui-même, en s'y opposant à l'aide d'une pression développée dans la mine. Il est facile de faire ressortir la complète inanité de cette conception.

D'une part, le projet consistait à maintenir dans le réseau souterrain une pression de 30 à 40 centimètres d'eau. Or, nous avons reconnu (n° 1002) que celle du grisou, que l'on se propose de tenir ainsi en respect, peut atteindre le centuple.

D'un autre côté, en admettant que l'on entreprît, au contraire, de lutter à armes égales, et que la constitution humaine le supportât, il est impossible d'admettre qu'aucune pression puisse être maintenue statiquement dans toute l'étendue d'une mine, à travers un sol crevassé par les tassements, coupé par les failles, et avec les nécessités de l'extraction. Quant à maintenir la dépression à l'état dynamique, nous avons vu également dans quelles étroites limites on se trouve resserré à cet égard, et, d'ailleurs, cette solution nous ramènerait au problème de la ventilation.

[1] Ponson, *Supplément*, I, 399.

NEUVIÈME PARTIE

SERVICES DIVERS

CHAPITRE XLVI

ÉCLAIRAGE

---

§ 1

ÉCLAIRAGE A FEU NU

1132 — *Chandelles.* — A la suite de l'aérage, qui a pour but d'assurer la respiration des hommes, nous grouperons, dans la neuvième partie de ce Cours, divers services qui se rattachent également au personnel, à savoir : l'*éclairage*, pour le mettre à même de se guider dans la mine, et d'y travailler; les *descenderies*, qui lui permettent de pénétrer dans les travaux et d'en ressortir; les *sauvetages*, destinés à lui porter secours en cas d'accident; enfin l'*organisation du personnel*.

L'éclairage des travaux souterrains constitue une source de dépense proportionnelle à la durée du travail, qui ne saurait être perdue de vue. Elle représente, en général, un vingtième du prix de la main-d'œuvre.

Sa description mériterait peu, d'ailleurs, que l'on s'y arrêtât longuement, sans les difficultés et les dangers auxquels donne lieu la présence du grisou. Mais cette circonstance en fait, au contraire,

un problème de la plus haute importance. Nous commencerons par esquisser les moyens d'éclairage employés en l'absence de ce gaz redoutable.

Quelques mines du Nord étaient autrefois éclairées à l'aide de torches de sapin, qu'un gamin renouvelait successivement.

L'emploi de la chandelle de suif s'est perpétué pendant des siècles, et l'on en trouve encore des exemples. On les appelait *chandelles à la baguette*. On les fixe, la plupart du temps, dans un bougeoir de fer, muni d'un manche pointu, qui peut se piquer dans les bois de soutènement. Parfois, une pelote de terre glaise sert à la tenir à la main, ou à la coller à la paroi.

Les hommes la portent encore au front, dans une gaine, qu'une courroie de cuir attache autour de la tête ([1]). De cette manière, le mineur éclaire de plus haut sa marche, sans avoir la vue éblouie par l'interposition de la flamme entre les yeux et le sol. En outre, on illumine mieux les barreaux des échelles au-dessus de la tête, en gardant l'usage des mains plus libre que si l'on doit tenir sa lampe.

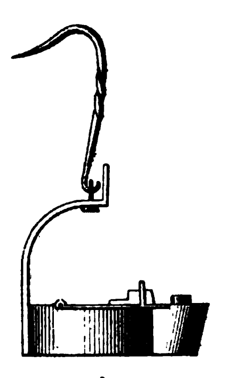
On brûle environ 15 à 20 grammes de suif par heure ; mais les bouts ne peuvent être facilement consumés, et l'on est obligé de les refondre. De plus, ce mode de combustion, que les courants d'air activent beaucoup, devient, dans certains cas, extrêmement gênant.

1133 — *Lampes à feu nu.* — Le mode le plus usité est l'emploi de l'huile. Souvent elle est laissée en compte aux mineurs, qui ont à s'éclairer à leurs frais. La consommation peut alors s'abaisser jusqu'à 10 grammes par heure, tandis qu'elle atteint, dans les autres cas, 15 à 20 grammes.

Les Romains se servaient de lampes en terre cuite, ou en métal. Ces dernières, moins fragiles, sont seules usitées aujourd'hui. On les porte, pendant la marche, à l'aide d'une anse, assez longue pour ne pas brûler la main (fig. 683, 684). Elle est munie d'un crochet et d'une pointe, qui servent à la fixer aux parois. On lui adapte, à

([1]) La fable des Cyclopes a pu trouver son origine dans cet usage, qui remonte à la plus haute antiquité parmi les mineurs de Sicile (Diodore de Sicile, liv. III, chap. VI).

l'aide d'une chaînette de retenue, une mouchette, qui est passée dans un petit fourreau. Le corps de la lampe présente le type d'un ellipsoïde très aplati, disposé de manière à ne pas perdre l'huile en tombant, ou encore une forme prismatique de peu de hauteur. On emploie aussi un tronc de cône, porté horizontalement à l'aide d'une sorte de poignard, que l'ouvrier peut piquer dans les bois de soutènement, ou passer dans une gaine fixée à son chapeau (fig. 685), afin de garder les mains libres pour la manœuvre des échelles. La *rave*, avec son piqueron, coûte de 0f,75 à 1f,25.



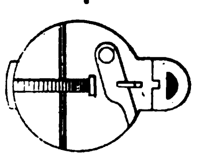


Fig. 683, 684. Lampe à feu nu (plan et élévation).

Indépendamment des lampes portatives, on allume un certain nombre de *feux fixes*, munis de réflecteurs, et placés en des points importants, tels que les recettes, certains croisements, les tronçons de galerie voisins des accrochages et très fréquentés. Dans quelques mines [1], exploitées à l'aide d'un quinconce régulier de galeries rectilignes, le réseau entier des voies de circulation est éclairé à l'aide de feux fixes, afin de dispenser les porteurs à dos de tenir une lampe, en leur permettant de s'appuyer des deux mains sur deux courtes béquilles.

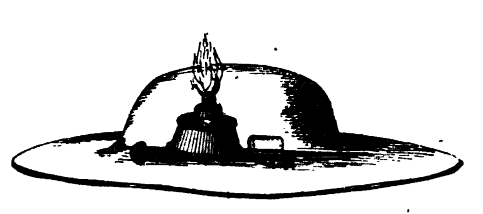


Fig. 685. Lampe à feu nu portée au chapeau.

Pour le service du carreau du puits et des haldes à l'extérieur, on a quelquefois recours à des *torches* portatives à l'huile, afin de percer l'obscurité avec plus de puissance. Un tube métallique se termine par un renflement en pomme d'arrosoir, rempli de chiffons destinés à retenir, par capillarité, l'huile qui brûle au dehors, à travers les trous.

[1] Par exemple celles de Trets, quand elles étaient exploitées par piliers.

Quand la flamme baisse, par manque d'aliments, on renverse un instant la torche, pour ramener, sur les chiffons, l'huile qui s'est peu à peu rassemblée au pied du tube.

1134 — *Éclairage au gaz.* — Nous avons vu déjà (n° 1006, note 1 ; et 1007) que l'on a réussi à capter le grisou, pour l'utiliser en vue de l'éclairage de l'extérieur. A la vérité, sa lumière est peu intense, et l'on a obtenu un meilleur résultat de l'emploi de l'hydrogène bicarboné; en fabriquant ce dernier à l'aide de cornues que l'on installe au jour, ou même au fond ([1]), bien que cette dernière combinaison soit évidemment défectueuse. L'éclairage au gaz a été appliqué aux immenses chambres souterraines des ardoisières d'Angers ([2]). L'unité d'intensité, équivalente au bec Carcel, y revenait à 0f,034 par heure.

§ 2

ÉCLAIRAGE DE SURETÉ — MOYENS DIVERS

1135 — *Rouet à silex.* — Parmi les moyens d'éclairage employés dans les mines à grisou, le plus ancien est le *rouet à silex*, imaginé à Whitehaven en 1760. Il est fondé sur cette propriété, plutôt admise que démontrée, que la simple incandescence de particules solides n'allume pas, en général, le grisou, et que le contact d'une flamme gazeuse est, pour cela, nécessaire. Nous avons dû, à cet égard, formuler déjà certaines réserves (n° 995, note 3, et n° 1001).

L'appareil se compose d'une roue, qu'un manœuvre entretient, à l'aide d'une manivelle et d'engrenages, dans un mouvement permanent de rotation. Elle porte des briquets d'acier, qui passent péniblement sur des silex, de manière à en dégager des gerbes d'étincelles. La clarté ainsi développée est à la fois irrégulière et insuffisante. De plus, ainsi que nous venons de le dire, la sécurité que

([1]) *Annales*, 5e, XII, 782.
([2]) Blavier, *Annales*, 7e, XVII.

procurait cet appareil est loin d'être complète, et on lui a rapporté quelques cas d'explosions (1).

1136 — *Lueur barométrique.* — Pour ne rien omettre dans cet ordre d'idées, nous mentionnerons une proposition de M. Alvergnat, fondée sur la curieuse propriété que présente la chambre barométrique, de répandre une certaine lueur, quand on agite le mercure dans le vide, ou, pour mieux dire, dans le milieu excessivement raréfié qui remplit cet espace.

Dans l'appareil Alvergnat, un tube de verre coudé en forme de V, et renfermant une certaine quantité de mercure, a été vidé d'air avant d'être fermé à la lampe, et l'on fait incessamment passer le métal d'une branche dans l'autre.

Il est inutile de faire ressortir que la fragilité de cet organe, l'assujettissement qu'il impose, son prix élevé, et le peu d'intensité de la clarté qu'il procure, lui ôtent toute valeur pratique, bien qu'il n'expose à aucun danger.

1137 — *Phosphorescence et fluorescence.* — On a essayé, sous le nom de *phosphore de Canton* (2), un mélange de farine et du résidu de la calcination d'écailles d'huîtres avec du charbon. Mais la lueur phosphorescente ainsi dégagée reste insuffisante.

La peinture Balmain a pour base le sulfure de calcium. On recouvre, de cet enduit, la face antérieure du collier des chevaux, ainsi que des planches mobiles qui, après avoir été exposées à l'insolation, sont réintroduites dans les travaux, où elles répandent une lueur douce, de nuance lilas, qui persiste pendant plusieurs heures. Cependant elle éprouve une déperdition, qui s'accentue en raison du carré de son intensité. De plus, cette fluorescence disparaît dans l'humidité, et sous l'influence de l'hydrogène sulfuré (3).

1138 — *Réflecteurs.* — On a, dans des cas très rares, pour les-

(1) *Transact. NEI*, XV, 207.
(2) Combes, *Traité d'exploitation des mines*, II, 586.
(3) Conférence de M. Heaton à la Société des arts de Londres, 11 mars 1880, *Les Mondes*, LIV, 261.

quels tout moyen d'éclairage souterrain devenait absolument impossible, conduit, jusque dans les travaux, la lumière du soleil à l'aide de puissants réflecteurs. Ce moyen a servi notamment pour rentrer dans la mine de Wynnstay (n° 1214), après qu'on en eut étouffé l'incendie, en la calfeutrant totalement.

Il pourrait prolonger son action pendant la nuit, à l'aide de foyers intensifs, ou de la lumière électrique. Son emploi deviendrait plus facile, s'il s'agissait simplement d'éclairer le pied d'un puits en fonçage dans des roches grisouteuses.

1139 — *Canalisation de l'air extérieur.* — Un grand nombre d'inventeurs [1] ont mis en avant, l'un après l'autre, le principe de la canalisation de l'air extérieur, que l'on enverrait ainsi sur des feux fixes, renfermés dans des globes fermés, pour ne pas communiquer avec l'air suspect de la mine. Tantôt on propose l'action d'un ventilateur, pour ramener les gaz brûlés à travers une seconde partie de la canalisation ; tantôt il est admis que les globes resteraient ouverts pour l'évacuation de ces produits, sauf une obturation partielle par une toile métallique, dont nous étudierons bientôt l'action.

Mais ce principe ne peut soutenir l'examen. La lampe portative est, en effet, rigoureusement indispensable au mineur pour fouiller tous les recoins, établir ses boisages, étudier les fentes des parois, la solidité du toit, éviter de laisser des vides dans le remblayage, etc. De plus, les globes de verre seraient exposés à la rupture par quelque choc, ou en raison de la chute d'une goutte d'eau froide sur leur surface chaude, et l'on se trouverait alors vis-à-vis d'une lampe à feu nu. L'allumage et le nettoyage risqueraient d'établir des communications dangereuses. La canalisation dans un sol parfois mouvant, et avec un réseau incessamment modifié dans les chantiers, entraînerait un assujettissement intolérable. Enfin, l'absence de lampes portatives obligerait à éclairer la totalité de la mine, même dans les parties pour lesquelles il serait inutile de faire d'autre dépense que celle de quelques lampes à la main, pour les personnes obligées d'y circuler de temps en temps.

(1) MM. Boullenot, Judicki, Rolland-Banès, Turquan, etc.

1140 — Toutefois il importe d'apporter, dans cette conclusion négative, quelques réserves pour des cas tout spéciaux.

C'est ainsi que nous verrons plus loin (n° 1206) des lampes de sauvetage portées à la main, fermées, et alimentées par une dérivation du courant d'air forcé que l'on fournit à la respiration des hommes, au moyen d'appareils spéciaux.

De même, quand il s'agit simplement d'éclairer les abords extérieurs d'un puits grisouteux, et, tout particulièrement, de ceux qui sont sujets aux dégagements instantanés, les difficultés qui viennent d'être signalées pour l'intérieur disparaissent. On peut alors, pour éviter les feux nus, qui doivent être proscrits jusqu'à une distance suffisante, trouver utilité à se servir du *réverbère de sûreté* Lechien [1].

Cet appareil s'alimente à l'aide d'une prise d'air reportée à la distance voulue. Il évacue les gaz de la combustion à travers une cheminée étranglée en double tronc de cône, pour gêner la rentrée de l'air, et fermée, en outre, par une toile métallique, destinée à donner toute sécurité. On pose le chapeau sur le corps du réverbère, après avoir allumé, dans l'intérieur, un *rat-de-cave* assez long pour brûler, au détriment de l'air renfermé dans l'appareil, pendant le trajet effectué depuis le point d'allumage jusqu'à l'emplacement auquel le système est destiné. En ouvrant les tubulures qui traversent le siège du réverbère, on allume, à la flamme du rat-de-cave, un bec de gaz qui continuera ensuite à brûler indéfiniment. On l'éteint, pour les nettoyages, en fermant le robinet de gaz. La pose et la dépose sont facilitées par des *joints à sable*, analogues au joint hydraulique, et consistant en un petit fossé circulaire rempli de sable fin, dans lequel s'implante la garniture cylindrique de la partie mobile, ce qui réalise, avec une grande simplicité, une fermeture étanche.

1141 — *Éclairage électrique*. — L'emploi de la lumière électrique devait naturellement se présenter à l'esprit, pour l'éclairage des mines à grisou. Il a trouvé, en effet, depuis longtemps, des partisans éminents, et il ne saurait être question, en présence des

[1] Haton de la Goupillière (*Bull. Soc. d'enc.*, 3e, X, 503). — Bardy (*ibidem*, 3e, XI, 12).

progrès déjà accomplis, et de l'accélération imprimée, dans ces derniers temps, au perfectionnement de cette branche de la physique, d'opposer une fin de non-recevoir aux espérances qui ont été formulées à cet égard. Il est cependant nécessaire de présenter l'énumération des difficultés qui ont jusqu'ici rendu impraticable, d'une manière courante, l'éclairage des travaux de mine par l'électricité, en bannissant complètement l'emploi de la combustion (1).

On peut d'abord reprocher à ce moyen d'éclairage sa trop grande intensité, qui éblouit la vue et la rend incapable de distinguer les détails, dans des ombres absolument noires. Or une taille est toujours, quoi qu'on fasse, remplie d'anfractuosités. En outre, l'assujettissement des appareils et des fils conducteurs paraît, aux exploitants, inconciliable avec les nécessités du service. Nous avons dit, d'ailleurs (n° 1139), qu'un système de feux fixes, bien qu'il puisse rendre des services à titre exceptionnel, ne saurait, en aucune façon, dispenser de la lampe portative mise à la disposition de chaque homme.

Mais la plus grave objection consiste en ce que l'on ne saurait se considérer comme assuré contre le danger d'explosion, en cas de rupture du globe de verre qui enferme la lampe. M. Jamieson a fait, à cet égard, une expérience instructive, en brisant le globe d'une lampe Swann dans une caisse qui renfermait un mélange explosible. L'explosion s'est, en effet, produite (2).

La lumière électrique a cependant rendu déjà des services à l'industrie souterraine. Je citerai d'abord la lampe électrique de sauvetage Dumas et Benoît, dont il sera question plus loin (n° 1206); et, en outre, l'éclairage des mines de sel de Chester (3), des mines de Pleasley près Mansfield avec les lampes Crampton (4), des houil-

(1) *Bull. min.*, 2e, VIII, 353. — *CRM*, 1878, 186; 1879, 241; 1880, 152. — La Lumière Électrique, *passim*. — Régnier, *Pièces annexées* aux procès-verbaux de la Commission du grisou, 70. — *Journal des mines*, 1878, 724. — *Les Mondes*, LI, 871. — Elektrische Beleuchtung in Schlagwetter führenden Gruben (*Œsterreichische Zeitschrift für Berg- und Hüttenwesen*, 1881, 497, 591; 1882, 296, 667).

(2) *Rev. univ. d. m. et u.*, 2e, X, 200.

(3) *Journal des mines*, 1879, 100.

(4) *CRM*, 1883, 237, Mathet. — *Génie civil*, I, 499.

lères de Earnock avec les lampes Swann ([1]), des exploitations d'anthracite de Pennsylvanie avec la lampe Brush ([2]), du puits du Magny de Montceau-les-Mines avec la lampe Edison ([3]), des mines de Zaukeroda (Saxe) et de Ernstschacht (Mansfield) avec cette même lampe ([4]), et des carrières souterraines d'Angers avec la lampe Serrin ([5]).

1142 — Ce dernier exemple présente d'autant plus d'intérêt que la lumière électrique s'y trouve placée dans son véritable rôle, qui consiste à percer l'obscurité des vastes cavités souterraines, de même que celle de la nuit pour les grands travaux à ciel ouvert. Dans ces ardoisières de deux à trois mille mètres carrés, que la roche schisteuse recouvre en forme de voûte (n° 393), la lumière des lampes était tout à fait impuissante à illuminer une pareille hauteur. Déjà l'éclairage au gaz avait constitué une réelle amélioration. Mais la lumière électrique, plus fixe que celle du gaz, ne risque pas de s'éteindre par les coups de mine, et ne donne ni fumées ni produits délétères.

Avec une mise de fonds d'environ 4500 francs, pour deux machines Gramme, trois lampes Serrin, dont une de rechange, et une boîte d'accessoires, on éclaire une chambre de 2000 mètres carrés. En ajoutant à ce chiffre un moteur à vapeur de 10 000 francs, et quatre conducteurs en cuivre de 350 mètres, pesant 700 kilogrammes, et coûtant de 2000 à 2500 francs, on peut estimer à 16 000 ou 17 000 francs la mise de fonds totale pour les deux lampes. La machine à vapeur marche vingt-deux heures par jour, et l'éclairage n'est suspendu que pendant deux heures, pour l'entretien des appareils. Si l'on ajoute les frais journaliers, ainsi que l'amortissement du capital précédent, l'éclairage ne ressort pas à

([1]) *Les Mondes*, LVI, 10. — *Engineering and Mining Journal*, XXXII, 172. — *Œsterreichische Zeitschrift*, 1881, 394, 497, 591.

([2]) *Engineering*, novembre 1880, 384.

([3]) Mathet, *CRM*, 1883, 237. — *Mémoires de la Société des ingénieurs civils*, 1884, 394. — La dépense par lampe et par heure s'est élevée à 0f,0062, en ce qui concerne le renouvellement du matériel, et à 0f,0310, en tenant compte de la force motrice. C'est à peu près le triple de la dépense de la lampe de sûreté, 0f,0117, mais avec 30 fois plus de lumière, ce qui rendrait l'unité photométrique dix fois moins chère.

([4]) Köhler, *Lehrbuch der Bergbaukunde*, 602.

([5]) Blavier, *Annales*, 7e, XVII, pages 9 à 20.

plus de 50 francs, tandis que la lumière du gaz coûtait 54 francs dans les mêmes conditions, et avec un résultat bien moins satisfaisant. En estimant l'intensité de chacune des lampes à celle de 300 becs Carcel, la dépense de cette unité photométrique revient à $0^{f},0057$, tandis que nous avons vu (n° 1134) qu'avec le gaz elle ressortait, dans ces mêmes carrières, à $0^{f},0340$. Il est toutefois évident que l'avantage qui résulte de la comparaison de ces chiffres. perdrait une grande partie de sa valeur, si l'on opérait sur des espaces sensiblement moindres.

§ 3

LAMPES DE SURETÉ. — GÉNÉRALITÉS

1143 — *Toile métallique.* — La seule solution qui puisse être aujourd'hui considérée comme pratique, pour l'éclairage des mines à grisou, est la lampe à *treillis métallique*. Sa construction est basée sur la mémorable découverte de Davy ([1]), relative à l'obstacle qu'un diamètre très réduit oppose à la propagation de la flamme, dans des tubes étroits. Or le passage à travers une toile métallique à mailles serrées peut être assimilé à l'ensemble d'un grand nombre de tubes de ce genre, très courts dans le sens de la normale. Le refroidissement des gaz en ignition est tel, en effet, que la flamme ne peut franchir la toile. Si donc on environne le porte-mèche, d'un tube en treillis fermé, au sommet, par un toit semblable (fig. 687), la combustion du mélange gazeux autour de la mèche ne s'effectuera que dans l'intérieur de ce *tamis*, et la flamme ne pourra se propager à l'extérieur.

L'influence des éléments de la toile est très délicate ([2]). Des mailles trop larges exposent à laisser passer la flamme ; des fils trop fins, à ne pas refroidir assez complètement. Un gros fil et une petite maille gênent beaucoup l'entrée de l'air, et l'évacuation des gaz. La toile définie dans l'arrêté royal qui règle la matière en

([1]) En 1815. La priorité de l'invention de la lampe de sûreté lui a été disputée au profit de George Stephenson et du Dr Clanny.

([2]) Marsaut, *Étude sur la lampe de sûreté des mineurs*, 1883, 63.

Belgique, est formée d'un fil de un tiers de millimètre, au moins, de diamètre, et 144 mailles au centimètre carré. C'est aussi le chiffre ordinaire des lampes françaises, bien que l'on ait été, dans le Gard, jusqu'à 225 mailles. En Angleterre, on descend jusqu'à 121 mailles d'un fil solide. Parmi les toiles allemandes, il en est une, à côtes, qui est formée d'un fil assez fort.

1144 — Si la teneur en grisou devient telle que le feu remplisse tout le tamis, celui-ci s'échauffe, rougit, et l'on ne peut plus en attendre le même degré d'action préservatrice. Cependant la lampe ne transmet pas, même alors, la flamme au dehors dans un air en repos. Soumise, d'un côté, à la température de combustion, et, de l'autre, à celle de l'atmosphère ambiante, la toile prend rapidement un état thermique permanent qui est tel, si la lampe est bien construite, que la température à laquelle les fils sont portés sur la face externe, reste inférieure à celle de l'inflammation du mélange. Cette dernière est, en effet, très élevée, et un fer rouge ne suffit pas à provoquer cette inflammation (n° 995).

Mais on doit craindre, dans ces conditions, que la toile ne se brûle et ne se détruise, que des poussières huileuses collées au tamis, venant à s'enflammer au contact du métal porté au rouge, ne provoquent la déflagration de l'atmosphère extérieure, ou encore que le culot de la lampe n'arrive à se dessouder. Par-dessus tout, la lampe est devenue, dans cet état critique, beaucoup plus sensible à l'action du vent, pour faire sortir la flamme [1].

1145 — *Influence de la vitesse.* — Il faut toujours, en effet, même dans les conditions ordinaires, éviter qu'un courant d'air trop violent ne rejette mécaniquement la flamme hors du treillis, sans lui donner le temps nécessaire pour se refroidir par le contact de la toile. Aussi doit-on s'interdire avec soin de balancer sa lampe. de manière que la vitesse de ce mouvement pendulaire vienne s'ajouter à celles de la marche et de la ventilation. Il doit, de même, être interdit de suspendre des lampes au collier des chevaux, pour

[1] Mallard, *Pièces annexées* aux procès-verbaux de la Commission du grisou, 48, 51.

éclairer leur marche, car ils les secouent, en produisant le même inconvénient. On s'abstiendra également d'agiter des vêtements dans le voisinage des feux. On éloignera autant que possible ces derniers du front de taille, au moment de la tombée, pour les préserver du coup de vent qui en est la conséquence. Certains observateurs ont annoncé (en même temps que d'autres en ont contesté la possibilité), que l'onde provoquée par la déflagration d'un coup de mine est capable de faire sortir la flamme (1).

Des expériences directes (2) ont montré que les lampes de Clanny et de Stephenson étaient traversées dès la vitesse de 2m,70 : celle de Mueseler pour 2m,40 ; la lampe Morison à 2m,15 ; les lampes Davy et Boty à la vitesse de 1m,83.

Il a été reconnu également que la composition du gaz peut faire varier ces limites (3). La vitesse nécessaire à la sortie de la flamme est 1,4 fois plus grande, pour l'air grisouteux, qu'avec le gaz de l'éclairage. On peut donc conclure *a fortiori*, d'après les expériences faites, pour plus de simplicité, à l'aide de l'hydrogène bicarboné.

En réalité, la valeur de la vitesse effective avec laquelle le gaz incandescent se présente sur la toile, se complique de celle du mouvement vibratoire, qui peut se trouver, à ce moment, dans une phase quelconque de sa variation. On ne saurait donc rien affirmer de certain, en raison d'une seule expérience ; et il est nécessaire de ne conclure, en pareille matière, que de la répétition d'un grand nombre d'essais.

1146 — Des influences très importantes signalées, pour la première fois, par M. Marsaut, et étudiées par MM. Mallard et Lechatelier, se produisent lorsque la proportion du grisou, en variant progressivement, arrive à déterminer son embrasement sur la

(1) *Annales*, 7e, XII, 221. — *Bull. min.*, 2e, VI, 836. — *Transact. NEI*, 1875, 65. — *Proceedings of the Royal Society*, 1874, n° 154.

(2) *Annales*, 6e, XII, 567 ; 7e, VII, 355. — *Pièces annexées* aux procès-verbaux de la Commission du grisou, 64. — Arnoult, *Annales des travaux publics de Belgique*, XXVI, 5 ; XXXI, 306, 517. — *Transact. NEI*, XVII, 17, 39 ; XXIII, 15. — Kreischer und Winckler. *Untersuchungen über Sicherheitslampen*, Freyberg, 1883.

(3) Combes, *Traité d'exploitation*, II, 307, 503. — Mallard, *Bull. min.*, 1re, XIII, 725 — Mallard et Lechatelier, *Annales*, 8e, III, 37.

mèche. Cette inflammation commence par se propager avec sa vitesse caractéristique (n° 998). Mais, de suite, il s'y mêle une accélération, provenant de la dilatation des masses échauffées par cette combustion, qui poussent devant elles la portion du mélange encore intacte. Celle-ci sort donc, en avant-garde, à travers le treillis, avec une *vitesse croissante*, car cette issue invariable doit livrer passage à une masse, qui varie à chaque instant comme l'importance du foyer de l'action chimique, c'est-à-dire en raison du carré du rayon de la surface sphérique atteinte à ce moment par la déflagration. D'après cela, plus la lampe sera grosse, plus la *vitesse finale* sera considérable, à l'instant de l'arrivée du feu sur la toile. Il en sera donc de même de la chance de lui voir dépasser la *vitesse type*, qui constitue la limite de la sécurité.

On l'augmentera également, si l'on vient à gêner l'écoulement, en employant des mailles plus fines, ou en recouvrant la surface de toile avec des obturateurs partiels. Toutes choses égales d'ailleurs, le volume croissant comme le cube, et la surface seulement comme le carré des dimensions, les grosses lampes auront plus de chances de communiquer le feu que les petites.

1147 — *Enveloppe de verre.* — L'effet inévitable du treillis est une très grande déperdition de lumière. Il est facile d'en déterminer la proportion, car le canevas formé par cette toile reproduit le tracé des piliers et galeries, pour lequel nous avons déjà effectué cette évaluation (tome I, p. 404). Il faut seulement remarquer ici que le résultat doit être interverti, en ce sens que l'espace occupé par les lignes continues représentait, dans la méthode d'abandon, la partie utile, tandis qu'ici elle constitue l'obstacle à la lumière. Celle-ci ne peut passer que par les rectangles intermédiaires qui forment, dans cette méthode d'exploitation, la portion abandonnée.

Or nous avons trouvé, pour cette dernière partie, le rapport :

$$\left(\frac{\alpha}{\alpha+1}\right)^2,$$

en désignant par α le rapport de l'intervalle des fils à leur épaisseur.

Si donc cette dernière est de $\frac{1}{n^{ième}}$ de *millimètre*, et que le tissage en dispose m par *centimètre*, la partie pleine de ce centimètre aura pour valeur m fois l'épaisseur $\frac{0,001}{n}$, et le vide fournira le surplus. On a donc

$$\alpha = \frac{0,01 - 0,001\frac{m}{n}}{0,001\frac{m}{n}},$$

ce qui donne, pour la quantité de lumière conservée :

$$\left(1 - \frac{m}{10n}\right)^2.$$

On emploie, en général, pour la toile de cuivre, 14 ou 15 fils d'un quart de millimètre. La lumière conservée est alors réduite à 42 ou 39 °/₀. Avec la toile de fer [1], on introduit, par centimètre, 11 à 12 fils d'un demi-millimètre, et l'on n'a plus que 20 ou 16 °/₀ de clarté. Si l'on considère, enfin, que ce ne sont là que des évaluations théoriques, et que l'obliquité des rayons, l'encrassement de la toile, les ombres portées par les montants de l'armature métallique, tendent encore à augmenter les pertes, on voit combien ce mode d'éclairage devient peu satisfaisant.

1148 — On a remédié à cet inconvénient, en ne faisant régner le treillis que sur une portion seulement de la hauteur, et entourant la flamme, d'un tube de verre, pour en transmettre directement l'éclat (fig. 687).

Cette enveloppe de cristal est ordinairement circulaire, et d'une épaisseur uniforme. M. Pasquet a proposé de la limiter extérieurement par un prisme hexagonal. Par là, on déterminerait une iné-

[1] On a essayé aussi le fer étamé, galvanisé, ou argenté, et même l'aluminium. Mais ce dernier métal est exposé à fondre, sur un aussi faible diamètre, à la température de combustion du gaz (*Transact. NEI*, XI, 178).

gale répartition de la clarté, sans que le total en ait, bien entendu, changé de valeur. La valeur du maximum d'éclairement s'élèverait par conséquent au-dessus de l'ancienne moyenne, qui était uniforme, de même que les minima descendraient au-dessous. Si donc on sacrifie ces derniers, en les faisant correspondre aux six montants inévitables de l'armature métallique de protection, on recueillera, dans leurs intervalles, plus de lumière qu'avec le mode ordinaire. Ce principe est certainement ingénieux. Mais il reste à savoir si le prix plus élevé, et le danger résultant des tensions moléculaires inégales du verre échauffé, au moment du refroidissement subit dû à la chute d'une goutte d'eau, ne présenteraient pas des inconvénients plus importants que le bénéfice réalisé.

Dans ce même ordre d'idées, quelques constructeurs ont introduit des lentilles convexes, en vue d'obtenir une plus grande intensité dans une direction spéciale, en sacrifiant d'autant, bien entendu, le reste de la périphérie [1].

Dans tous les cas, l'une ou l'autre de ces modifications seraient préférables à la lampe Guérineau, dont l'enveloppe de verre présente un renflement équatorial en forme de lentille, en vue de concentrer la lumière sur tout le pourtour dans un plan horizontal.

Dans la lampe Eloin, on a, par une vue inverse qui semble moins rationnelle, évidé l'enveloppe d'une manière concave, pour obtenir la dispersion des rayons en dehors de ce plan horizontal.

MM. Bay et This ont eu l'idée de former de cristal le fond de certaines lampes spéciales, destinées à l'usage des ingénieurs, des géomètres, ou des maîtres mineurs, afin d'éclairer de haut en bas les plans que l'on a besoin de consulter dans l'intérieur des travaux, sans avoir, pour cela, besoin d'incliner l'appareil.

Des expériences comparatives ont été exécutées par MM. Marsaut et Lombard, pour apprécier le pouvoir éclairant d'un certain nombre de types. Elles ont donné les résultats suivants, dans

[1] On a également cherché, ailleurs que dans la lampe, à réaliser la meilleure utilisation de la clarté, en peignant en blanc les parois des galeries, à l'aide d'un lait de chaux. Les surfaces absorbent alors, à un moindre degré, la lumière directe, et en réfléchissent une partie, qui contribue d'autant à l'illumination de l'ensemble. Ce procédé a été essayé à Anzin, pour une galerie de traction mécanique.

lesquels le nombre 100 représente le pouvoir éclairant d'une bougie *de l'Étoile* (1).

Lampe	Westphalienne n° 13	69
—	Boty	65
—	Westphalienne n° 14	63
—	Marsaut	62
—	Williamson	50
—	Thomas	48
—	Clanny	47
—	Mueseler (type belge)	44
—	— (type anglais)	40
—	Baimbridge	35
—	Davy (type Dubrulle)	29
—	— (type du Gard)	20
—	— (type de Newcastle)	18
—	Stephenson	15

1149 — L'avantage caractéristique des enveloppes de cristal se trouve contre-balancé par le danger auquel expose leur rupture, qui peut être due à un choc, à la chute de la lampe, ou à celle d'une goutte d'eau froide sur le verre chaud, particulièrement dans les fonçages de puits, qui s'effectuent souvent sous une pluie abondante.

Pour remédier à cet inconvénient, la lampe Stephenson et celle d'Upton-Roberts conservent un tamis de sûreté sur toute la hauteur du cristal. Mais cette solution supprime de nouveau la clarté, le verre ne jouant plus alors qu'un rôle de protection contre les courants d'air.

Les lampes Glover, Godin, Morison, Rocour présentent deux enveloppes de verre concentriques, dont l'une sert à défendre l'autre.

On a proposé également l'emploi de lames de mica, ou, du moins, celui du verre de Bohême, ou d'un verre peu alcalin. Il est à recommander d'éviter l'emploi de la lime pour faire le joint. Son action rend le verre aigre et cassant.

On avait fondé des espérances sur le verre trempé incassable de

(1) Marsaut, *Études* sur la lampe de sûreté, 1883, p. 70.

M. Labastie [1]. Malheureusement il a été reconnu que ce produit s'altère avec le temps, et peut alors céder subitement aux tensions moléculaires qui lui communiquent, au commencement, ses remarquables propriétés. Il se brise alors de lui-même, à la manière des larmes bataviques. Le simple recuit paraît, au contraire, exercer une influence favorable [2].

Il convient, du reste, de ne pas s'exagérer l'importance des conséquences de la rupture de l'enveloppe. S'il est vrai qu'elle se fend assez facilement à chaud, par l'influence d'un refroidissement subit, les morceaux restent cependant jointifs, en général, malgré ces fêlures, qui sont, en outre, trop capillaires pour permettre le passage de la flamme. Il va sans dire que tout verre fendu doit être immédiatement remplacé, quand l'appareil revient à la lampisterie. Il ne saurait du reste en être autrement, car les morceaux se détachent alors les uns des autres, au moment où l'on démonte la lampe pour la recharger d'huile.

1150 — *Cheminée.* — M. Mueseler a encore ajouté au tamis et à l'enveloppe de verre, un troisième organe fort important. C'est une cheminée métallique intérieure (fig. 690), qui a pour but de forcer l'air, entré à travers les mailles du tamis, au-dessus du verre, à descendre jusque sur la flamme, afin d'alimenter la combustion, pour remonter ensuite dans le cône [3], en raison du tirage qui s'y établit.

Cette cheminée est en verre, pour sa partie inférieure, dans les lampes Arnoult, Godin, Baretta (n° 1160). On peut alors la faire descendre plus près de la flamme sans sacrifier la clarté. L'air se trouve mieux dirigé sur l'huile, et le cylindre de verre extérieur est, en partie, préservé de l'échauffement qui le met en danger. On reproche à cette combinaison l'obscurcissement du verre enfumé.

[1] *CRM*, 1876, octobre, 9; novembre, 13; 1884, 191, 199. — Bourée, *Bulletin* de l'Association des anciens élèves de l'École centrale. — *Les Mondes*, XLVI, 47; XLVII, 178.

[2] *Pièces annexées* aux procès-verbaux de la Commission du grisou, 2e fasc., 67.

[3] D'où le nom de *lampe à double courant d'air*. Dans d'autres types, comme dans la lampe Fumat (n° 1161), l'alimentation a lieu par la partie inférieure, à travers des trous ménagés dans le culot, et garantis par l'interposition d'une, et même de deux toiles métalliques. La lampe Upton-Roberts renferme, en outre, un pavillon destiné à diriger symétriquement ces jets d'air autour de la mèche.

Un *diaphragme* en toile métallique ferme, pour plus de sûreté, le passage à la base du treillis, tout autour de la cheminée. Le joint qui l'unit à cette dernière doit être particulièrement soigné. Le système devient, par là, beaucoup moins sensible aux courants d'air.

1151 — La lampe Mueseler présente une très grande facilité d'extinction, qui se manifeste dans trois circonstances différentes.

En premier lieu, l'appareil avertit de lui-même de la présence du grisou, en s'éteignant, et supprimant ainsi le danger dès qu'il vient à naître. Cela tient à ce que, la flamme commençant alors par s'épanouir dans cette atmosphère combustible, la cheminée ne peut plus débiter aussi facilement qu'à l'ordinaire ce supplément de gaz brûlés. Ces produits encombrent dès lors les abords de la mèche, empêchent l'arrivée de l'oxygène, et arrêtent la combustion. Cependant on ne saurait accorder à cette préservation une confiance absolue; l'action de la ventilation pourrait, par exemple, venir en aide à l'insuffisance du tirage et entretenir le fonctionnement ([1]).

Cette facilité d'extinction ne constitue plus, dans les deux autres cas, qu'un inconvénient pur et simple, sans aucun avantage en compensation. C'est d'abord lorsque l'on incline la lampe. Le tirage ne s'effectue plus alors sous l'empire de toute la longueur de la cheminée, mais seulement de sa projection verticale, laquelle a diminué. Il devient donc insuffisant pour éviter l'encombrement des gaz brûlés. De là une réelle difficulté à l'emploi de cette lampe, dans les couloirs inclinés où se pratique le traînage (tome I, p. 646).

Le même résultat se produit enfin par suite d'un mouvement plongeant trop rapide, comme lorsqu'on pose brusquement la lampe à terre, ou que l'on descend vivement les échelles. En effet, l'air n'arrivant sur la mèche qu'en raison du mouvement relatif qu'il possède par rapport aux parois, si celles-ci prennent subitement un mouvement propre d'entraînement, la vitesse relative peut se réduire à rien, et l'oxygène se trouver incapable d'atteindre l'huile.

1152 — *Organes divers.* — Aux organes principaux que nous

([1]) Arnoult, *Annales des travaux publics de Belgique*, XXVI, 27.

venons d'étudier, il en faut encore ajouter quelques autres, que nous allons énumérer.

C'est d'abord le *culot*, qui renferme la provision d'huile nécessaire pour la durée d'un poste.

En son centre, se trouve le *porte-mèche*, à travers lequel la mèche pompe, par capillarité, l'huile renfermée dans le culot. Ordinairement une vis, que l'on peut manœuvrer du dehors, sert à monter ou à descendre à volonté la mèche. M. Baretta insiste sur la supériorité que présente la mèche plate sur la mèche ronde, pour mieux brûler, en empêchant la lampe de filer.

Un *chapeau* de cuivre rouge, percé de trous fins, coiffe le tamis pour permettre la sortie des gaz chauds. On préfère, en général, ce dispositif à un redoublement de toile métallique, qui se brûle et se détruit rapidement.

Une *armature* métallique, formée ordinairement de six montants assemblés en forme de tronc de pyramide hexagonale, est destinée à préserver cet ensemble fragile, contre des chocs destructeurs.

Un *crochet* en forme de cercle ouvert près de sa base, sert à porter la lampe, ou à la suspendre à la poche du pantalon, quand on veut, pour un instant, conserver les mains libres.

1153 — Une *mouchette* est destinée à permettre d'attiser la mèche. Elle consiste en un fil de fer vertical présentant, à ses extrémités, deux parties recourbées à angle droit (fig. 689). Le coude inférieur sert à manœuvrer cette mouchette, en la tournant sur elle-même, la montant et la redescendant. Il se trouve dissimulé dans la hauteur d'un petit rebord circulaire, sur lequel porte la lampe, lorsqu'elle repose sur un plan horizontal. Le coude supérieur agit sur la mèche pour l'épanouir, et la débarrasser des fumerons carbonisés.

Le petit tube qui sert de passage à la mouchette doit être l'objet d'une attention spéciale, car il constitue une communication de l'intérieur avec l'extérieur, au moins dans les intervalles de temps pendant lesquels l'appareil ne repose pas sur sa base. M. Lechien annonce, d'après des essais directs, que des tubes-mouchette de 4 à 5 millimètres de diamètre enflamment nettement une atmosphère

grisouteuse (¹). MM. Mallard et Lechatelier ont indiqué, de leur côté, un diamètre de $0^{m},0032$ comme limite de la propagation (²). Or cette dimension n'a pas été spécifiée sur l'ordonnance du 17 juin 1876, qui réglemente, en Belgique, la construction des lampes de sûreté; et les constructeurs établissent souvent le tube-mouchette sur trois millimètres de largeur. On conçoit donc que la moindre irrégularité, l'usure, l'oxydation, puissent créer des dangers, si ce point n'est pas suffisamment surveillé.

1154 — *Fermeture.* — L'une des questions qui préoccupent le plus justement les constructeurs, est le mode de fermeture. Il doit être, d'une part, très commode pour les lampistes, qui opèrent sur des centaines d'appareils; et, de l'autre, impraticable pour le piqueur, auquel on remet sa lampe pleine, allumée et fermée. Mais l'obstination fatale et trop habile de l'ouvrier parvient presque toujours, au bout de peu de temps, à déjouer les efforts qui sont faits pour sa préservation. On ne saurait trop, à cet égard, se préoccuper de la nécessité d'entretenir le personnel dans une crainte salutaire des dangers du grisou, au lieu de le laisser s'endormir dans une funeste sécurité.

M. Villiers a introduit un mode très ingénieux de fermeture, au moyen de pistons de fer doux à ressort, noyés dans le corps de la lampe, de manière à rendre impossible de les saisir. Ils empêchent le dévissage du culot, à moins qu'on ne les extraye préalablement, non avec les doigts ni aucun instrument, en raison de la précision du joint, mais à l'aide de forts électro-aimants, mis en jeu par le lampiste, à l'aide d'une pédale et d'une machine Gramme.

Dans les lampes Lermusiaux, Purdy, Cuvelier (³), on a employé un procédé analogue, en substituant, à l'électricité, l'aspiration produite par une petite pompe, pour retirer la goupille qui se trouve maintenue par la combinaison d'un ressort et de la pression atmosphérique.

M. Aillot a imaginé une vis de 1200 tours, destinée à lasser la

(¹) Haton de la Goupillière, *Bull. Soc. d'enc.*, 3ᵉ, XI, 276.
(²) *Comptes rendus de l'Académie des sciences*, XCIII, 148.
(³) Genès, Fermetures de sûreté pour lampes de mineurs. (*Génie civil*, IV, 297.)

patience de l'ouvrier ; tandis qu'une répétition d'engrenages permet, au contraire, d'en venir rapidement à bout dans la lampisterie.

M. Schrœder emploie un rivet de plomb, qui est écrasé par la fermeture, et décapité par la réouverture.

La lampe Dinant est soudée chaque fois. Une heure suffit pour en fermer près d'une centaine. Les lampistes les rouvrent, plus rapidement encore, avec un fer rouge.

M. Armatole a proposé l'emploi d'un cadenas à lettres.

La lampe Dubrulle, le système protector, la lampe Mozart, la lampe Olanier, sont combinés de telle sorte, que le seul fait de l'ouverture détermine préalablement l'extinction.

On cherche encore une garantie contre les tentatives coupables d'ouverture, dans une forte amende imposée par le règlement, et même la sanction pénale des tribunaux [1].

§ 4

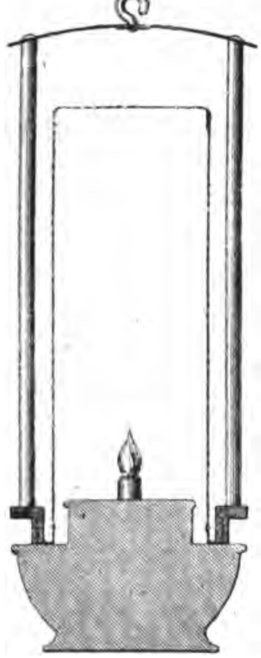
LAMPES DE SURETÉ. — TYPES SPÉCIAUX

1155 — *Lampe Davy.* — Il s'en faut de beaucoup que chacune des lampes de sûreté qui ont été proposées successivement, renferme la totalité des éléments que nous venons d'analyser d'une manière générale. Les divers groupements essayés jusqu'ici constituent des types spéciaux, qui ont été variés à l'infini [2]. Je me conten-

[1] Articles 96 de la loi du 21 avril 1810 et 31 du décret du 3 janvier 1813.

[2] Indépendamment des noms que j'ai déjà eu l'occasion de citer en grand nombre, et que je ne reproduirai pas ici, on peut encore enregistrer les suivants : Babilot, Benther, Bichon, Billot, Biram, Boullanger, Briams, Cavenaile, Chave, Chuard, Clarbour et Teale, Clauzet, Closson. Combes, Craig et Bidder, Cuvelier, Daglish et Flood, Dalverny et Raimond, Decamps et Carpiaux, Deleuil, Demanet, Denayrouse, Dernoncourt, Dittges, Dougald-Ballardy, Dumesnil, Eckardt et Lauten, Elvin, Evan, Fox, Frot, Fyfe, Gilmore, Gobron, Goebel, Goffin, Gray, Grousset, Hann, Harmegnies, Heinbach, Heinzerling, Herold, Hewiston, Higg, Hislain, Horn, Joassin, Jormar et Dulière, Jouniaux, Kœrner, Landau, Ledieu, Lemielle, Lindsay, Mackworth, Marka, Martin, Matthieu, Neumann, Odling, Olomer, Parish, Payen, Pelton, Pieler, Plimsoll, Plummet. Portal, Pritson et Bell, Regnier, Reuland, Rolland et Catelan, Ros, Rosenkrantz, Rosius, Saint-Hilaire, Schwab et Cicchanowich, Sharp et Joung, Smith, Souheur, Sutchiffe et Clayton, Struvé, Thouard, Thornton et Sens, Truchot, Waring, Watson, Wilkins, Win-Morgan, Wolf, Yates, etc.

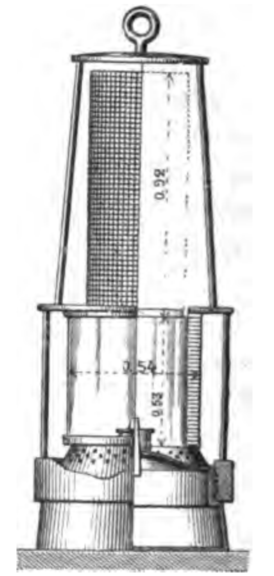
terai de décrire ici quelques-uns des principaux, afin de marquer la gradation des perfectionnements qui ont été accomplis à cet égard.


Fig. 686. Lampe Davy (type du Gard).

La lampe de Davy, qui a formé le point de départ de l'éclairage de sûreté, est encore employée dans beaucoup de mines, en raison de sa simplicité, bien que son défaut de sécurité doive tendre à la faire proscrire autant que possible.

Elle se compose (fig. 686) d'un culot en fer-blanc, sur lequel se visse le tamis, monté sur une bague filetée. Le chapeau est formé d'une toile redoublée, pour diminuer l'action destructive de la flamme. Une armature, formée de trois tiges seulement, la protège contre les chocs. Le porte-mèche se visse sur le sommet du réservoir. On règle la mèche avec une mouchette.

En général, la hauteur du tamis est de $0^{m},20$ environ, et son diamètre : $0^{m},06$ à $0^{m},07$. Le poids, à vide, est de $0^{kg},45$ à $0^{kg},55$. Elle contient à $0^{kg},12$ d'huile, et coûte de 3 à 4 francs.


Fig. 687. Lampe Boty (type de Westphalie).

1156 — *Lampe Boty.* — Cette lampe, est munie (fig. 687) d'une enveloppe de cristal surmontée du treillis métallique. L'air arrive sur la mèche (au moins dans les types anglais et westphalien, sinon dans la lampe belge) par une série de petits trous, percés dans la bague même qui porte le manchon de verre. Il est donc essentiel de veiller à ce que ces

orifices ne se bouchent pas. On néglige parfois, par une véritable imprudence, de leur adjoindre la garantie d'une toile métallique. L'appareil ne possède pas de cheminée. Sous le rapport de la sûreté et de la simplicité, il forme un intermédiaire assez employé entre la lampe Davy et celle de Mueseler.

1157 — *Lampe Birckel.* — Cette lampe, qui n'a pas de cheminée (fig. 688, 689), est munie de l'enveloppe de verre et du tamis de sûreté [1]. Elle se distingue par l'adjonction d'une sorte de lanterne sourde, formée d'une double garniture de tôle, dont les deux parties sont percées d'ouvertures correspondantes. L'une d'elles est fixe et environne le treillis. L'autre peut tourner autour de la première à frottement doux. Lorsque la lampe se remplit de feu, on exécute cette manœuvre, et l'extinction en est la conséquence. Si l'on conçoit simplement des craintes, on peut effectuer une demi-fermeture, qui communique à l'appareil une sensibilité analogue à celle de la lampe Mueseler, et détermine son extinction spontanée en présence du grisou, en gênant l'arrivée de l'air qui serait nécessaire pour dominer l'augmentation des produits de la combustion. Il est seulement à craindre que l'ouvrier ne préfère la clarté à la sécurité. La carapace extérieure figurait déjà dans la lampe Morison.

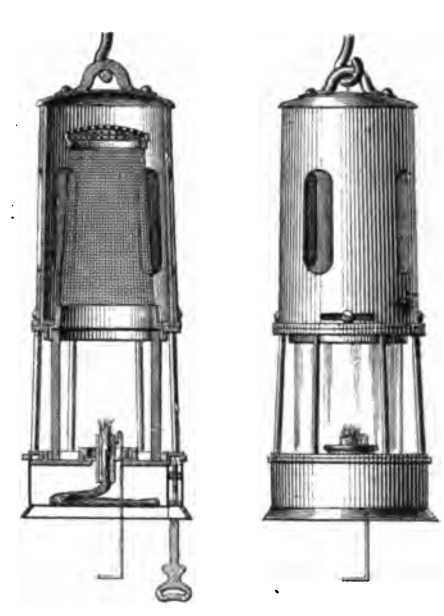


Fig. 688, 689.
Lampe Birckel (coupe et élévation).

[1] *Pièces annexées* aux procès-verbaux de la Commission du grisou, 2e fasc., 121. — *CRM*, 1880, 327, Pinel; 1881, 77, 119, Lombard. — *Bull. Soc. d'enc.*, 3e, IX, 496.

1158 — *Lampe Mueseler.* — La lampe Mueseler (fig. 690) renferme le tamis et le diaphragme, la cheminée, l'enveloppe de verre, le réservoir avec son porte-mèche et sa mouchette, l'armature de six montants. L'air descend entre le tamis et la cheminée, traverse le diaphragme, passe sur la mèche et remonte dans la cheminée. Inversement, il faudrait, pour que le feu se communiquât à l'atmosphère, qu'il traversât le diaphragme et le treillis, d'où une double sécurité. Le diaphragme suffit ordinairement pour contenir la flamme et l'empêcher de rougir le tamis. Cette lampe est relativement chère et lourde. Elle pèse, vide, près d'un kilogramme, et contient $0^{kg},115$ d'huile. La cheminée, en s'abaissant près de la mèche, contribue à diminuer la clarté.

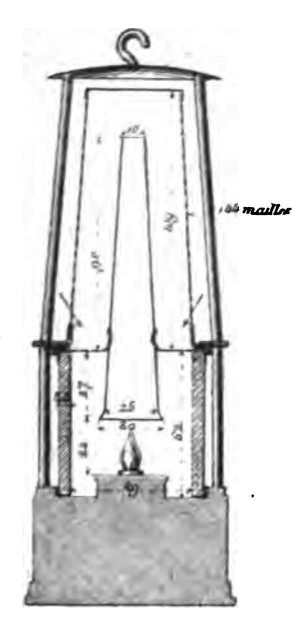


Fig. 690. Lampe Mueseler (type réglementaire belge).

Les dimensions doivent peu varier, sous peine d'altérer profondément les fonctions de l'appareil. L'ordonnance belge du 17 juin 1876, qui a rendu cette lampe obligatoire pour toutes les exploitations grisouteuses, fixe de la manière suivante ces dimensions . .

VERRE.	— Diamètre extérieur.			$0^m,0600$
	Épaisseur			$0^m,0055$
	Hauteur (y compris la douille), maximum . . .			$0^m,0620$
CHEMINÉE.	— *Diamètres :*	au sommet, maximum		$0^m,0100$
		au raccord avec l'évasement, maxim.		$0^m,0250$
		à la base de l'évasement, maximum.		$0^m,0500$
	Hauteurs :	au-dessus du diaphragme.		$0^m,0900$
		au-dessous (y compris l'évasement) .		$0^m,0270$
		de l'évasement		$0^m,0060$
		de la cheminée au porte-mèche. . .		$0^m,0220$
TAMIS.	— Hauteur			$0^m,1090$

La toile doit présenter, par centimètre, 12 fils d'un tiers de millimètre.

La lampe Mueseler a été, pendant longtemps, en possession du privilège d'inspirer aux ingénieurs une confiance absolue. Mais des doutes se sont récemment élevés sur la valeur de cette innocuité.

Les expériences exécutées par MM. Mallard et Lechatelier pour la Commission du grisou, ont constaté que cet appareil peut allumer le gaz extérieur, si on l'incline en le présentant au courant d'air ; ou s'il est soumis, dans une position verticale, à un vent plongeant.

Depuis lors, M. Marsaut [1] a découvert que si l'on sature la lampe, en l'élevant dans une cloche qui renferme du gaz d'éclairage et la redescendant avant qu'elle soit éteinte, elle fait explosion, au bout de quelques instants, en lançant le feu au dehors. Or, telles sont précisément les circonstances dans lesquelles on recherche ordinairement la présence du grisou, en élevant la lampe près de la couronne, pour étudier l'aspect de sa flamme, dans cette région qui est toujours la plus contaminée. Ce phénomène s'explique, en ce que l'afflux progressif de l'air pur ramène progressivement, par voie de rétrogradation, la teneur sursaturée à la proportion explosive qui détermine la déflagration ; tandis que, dans les circonstances ordinaires, une invasion lente et progressive de l'atmosphère de la mine la rend inflammable avant d'être explosive. Dans ces conditions, elle prend feu sans explosion, ce qui provoque l'extinction de l'appareil avant que les circonstances soient encore aggravées, ainsi qu'il a été expliqué (n° 1151).

M. Marsaut a reconnu, de même, que cette circonstance se présente encore plus nettement, si l'on *fait petit feu*, en abaissant la mèche, pour mieux étudier l'influence que la présence du grisou exerce sur la flamme, ainsi qu'il sera expliqué plus tard (n° 1167). Ce fait augmente encore la gravité de la remarque précédente. Il s'explique d'ailleurs tout naturellement, d'après la théorie qui a été présentée au n° 1146, puisque, la flamme étant plus resserrée vers le centre, l'inflammation part d'un point plus éloigné de la périphérie, et a plus de temps pour prendre son élan, et atteindre la toile avec une vitesse capable de la traverser.

[1] *CRM*, 1882, 123 ; 1883, 110, 164.

Une lampe Davy, soumise à la même expérience, ne donne qu'une sorte de bouffée, sans explosion proprement dite, ce qui renverse les rôles au point de vue de la sécurité. Cette différence est analogue à celle de la combustion de la poudre à l'air libre, ou au fond d'un canon de fusil. Elle s'explique encore d'après la même théorie. La lampe Davy n'oppose, en effet, presque aucun obstacle à la libre expansion du dedans au dehors, tandis que le cylindre de verre de la lampe Mueseler, et le diaphragme ajouté au tamis proprement dit, compliquent cette sortie. M. Marsaut a mis cette influence en évidence, en bouchant progressivement une partie des orifices de sortie, ce qui rend l'explosion de plus en plus fréquente.

1159 — *Lampe Marsaut.* — Cet éminent ingénieur a pris les observations qui précèdent, comme point de départ des modifica-

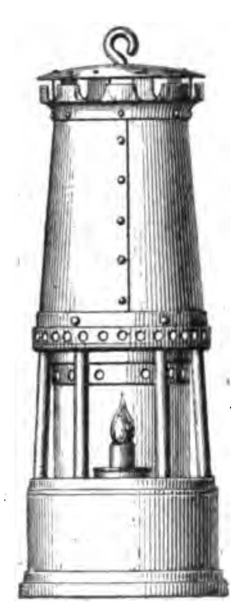


Fig. 691. Lampe Marsaut (élévation).

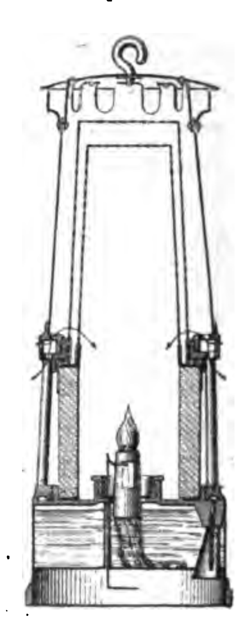


Fig. 692. Lampe Marsaut (coupe verticale).

tions qu'il a fait subir peu à peu à l'appareil de Mueseler (fig. 691, 692), de manière à constituer finalement une lampe entièrement nouvelle, dont l'emploi s'est rapidement propagé.

Il commence par supprimer le diaphragme, en le remplaçant par un second tamis concentrique au premier ([1]). Par là, tout en conservant la sécurité que présente un double passage à travers la toile métallique, il augmente considérablement la surface perméable, et diminue, par conséquent, les chances d'explosion. En même temps, il restreint la facilité d'extinction spontanée due à l'inclinaison de la lampe, en développant les facilités d'accès de l'air. Il est même arrivé à supprimer totalement la cheminée.

En second lieu, M. Marsaut environne sa lampe d'une armure métallique pleine, pour défendre le tamis contre l'influence directe du vent. Des fenêtres placées à sa base, au-dessus du cylindre de verre, servent à l'introduction indirecte de l'air, et sont elles-mêmes garanties par une couronne pleine. L'enveloppe est facilement démontable, afin que l'ouvrier, ainsi que le lampiste, puissent aisément vérifier l'état du treillis. On ne doit pas craindre, d'ailleurs, que cette armure, en empêchant le rayonnement, laisse rougir le tamis, sans que le mineur en soit averti. D'une part, en effet, un courant d'air rafraîchissant s'élève entre le bouclier et le treillis. Mais, surtout, la lampe s'éteignant dans le grisou, ne saurait présenter une tendance à rougir.

Des expériences comparatives ont montré à M. Marsaut une supériorité marquée de cette nouvelle lampe sur celle de Mueseler.

1160 — *Lampe Baretta.* — La lampe Baretta ([2]) dérive de celle de Mueseler par les modifications suivantes (fig. 693). Le tamis ordinaire est recouvert d'un second treillis, pour offrir une double sûreté. Celui-ci est, à son tour, enveloppé d'un écran qui le préserve des courants d'air, des poussières, et des chocs. A sa base, est ménagée une galerie pour l'entrée de l'air, garantie elle-même contre l'action du vent par une couronne, établie à la hauteur voulue, dans l'armature extérieure, et faisant corps avec elle.

A l'intérieur, la cheminée métallique s'arrête à la hauteur de l'enveloppe de cristal, et se prolonge, à partir de là, jusqu'aux envi-

([1]) Marsaut (*Bull. min.*, 2e, XII, 321). — *CRM*, 1882, 123 ; 1883, 67, 88, 110, 104, 185. — Sicherheitslampe von Marsaut (*Œsterreichische Zeitschrift f. B. u. H.*, 1883, 460).
([2]) *CRM*, 1883, 34, 202, 206.

rons du porte-mèche, par un tronc de cône en verre, assemblé à l'aide de quelques pas de vis en saillie. On évite ainsi les ombres portées par la partie inférieure de la cheminée de la lampe Mueseler. L'augmentation de la hauteur rend, en outre, l'extinction moins facile par suite de l'inclinaison de la lampe. En même temps, ce développement du tirage exposerait à certains dangers avec un seul tamis, et motive, pour sa part, l'introduction du second treillis.

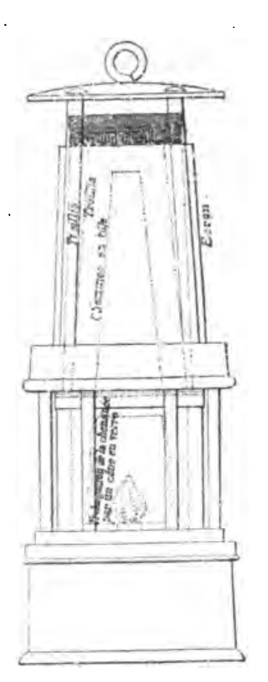
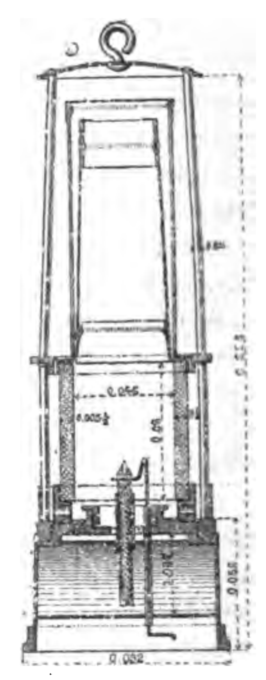


Fig. 693. Lampe Baretta.

1161 — *Lampe Fumat*. — M. Fumat (¹) a cherché, dans son dispositif (fig. 694), à imiter la combinaison ordinaire du foyer de chauffage, ou des lampes *modérateur*, qui reçoivent l'air par le bas, en évacuant, à travers une cheminée supérieure, les gaz brûlés. De cette manière, le grisou peut se consumer dès son entrée, au lieu d'être obligé théoriquement, comme dans le type Mueseler, de remplir toute la lampe, avant d'arriver sur la mèche.


Fig. 694. Lampe Fumat.

Les tubes d'entrée d'air sont garantis par un double tamis, formé de toile large à l'intérieur, et de toile à mailles fines au dehors. Une couronne de cuivre, de même hauteur que ce treillis, le préserve contre l'action du vent, afin d'éviter les courants remontants qui pourraient souffler la flamme.

(¹) *Bull. min.*, 2ᵉ, XIII, 181. — *CRM*, 1884, 13, 124.

La partie supérieure de l'appareil présente également un double tamis; le premier, tronc-conique, prenant sa base sur le sommet de l'enveloppe de verre, ainsi que le second, qui forme un cylindre en prolongement de cette enveloppe. Encore ici, la toile intérieure est à mailles larges et la seconde à mailles serrées. En haut comme en bas, les tamis extérieurs de toile fine constituent la véritable préservation de la lampe. Les toiles intérieures, à mailles plus larges, ne jouent qu'un rôle de préparation, en refroidissant la flamme, et brisant sa force vive en cas d'explosion, en vue de mieux assurer l'efficacité du second rempart. Pour éviter qu'en cas de dévissage de la lampe, le tamis intérieur ne vienne à être oublié, on l'a mandriné dans la cheminée, de manière qu'il n'en puisse être séparé qu'à la lampisterie, à l'aide d'un outil spécial.

§ 5

LAMPISTERIE

1162 — Chaque ouvrier a sa lampe, qui porte son numéro. Elle lui est remise par les lampistes pleine, allumée, et fermée à clef [1]. Il a cependant le droit de la refuser, si elle lui paraît suspecte, et d'en appeler à la décision du maître mineur. A partir de son acceptation, il en devient responsable. Si elle est trouvée ouverte entre ses mains, il sera considéré comme l'auteur de cette contravention. Les lampistes doivent constater que la lampe leur est rendue fermée. Lorsqu'elle porte des traces de détérioration, ou de tentative d'ouverture, ils ont le devoir d'en faire la déclaration.

Les tamis sont périodiquement nettoyés avec des lessives alcalines, des essoreuses et des brosses mécaniques, pour raviver les surfaces métalliques des fils, et, par suite, leur conductibilité protectrice, rétablir les pores qui ont été fermés par l'encrassement, au détriment de la clarté, et supprimer les poussières, ainsi que l'huile adhérente, qui pourraient s'enflammer en déterminant un coup de

[1] En Angleterre, cependant, on admet souvent que l'ouvrier emporte la partie supérieure de sa lampe, pour la nettoyer.

feu. On commence par enfiler le tamis sur le mandrin A (fig. 695), afin que la brosse B, dans sa rotation, le nettoie à l'extérieur. Ensuite on le retire, et on l'enfile sur la brosse C, en le maintenant à la main, pour le nettoyer à l'intérieur ([1]). L'ancien procédé de la calcination au rouge doit être rejeté, comme fatiguant inutilement les toiles. Il est bon de procéder de temps en temps à une vérification spéciale des tamis, en vue de s'assurer que la diminution de diamètre, que les fils subissent à la longue, n'a pas atteint un degré dangereux.

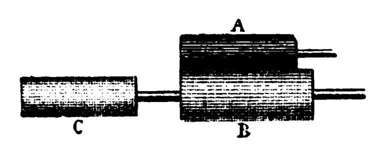


Fig. 695. Nettoyage des tamis.

Un examen journalier permet de constater qu'il n'y a pas de fils coupés, ni de déchirure capable de laisser passer la flamme. Une seule maille brisée fera rebuter le tamis.

M. Boussingault a imaginé une méthode de contrôle direct, qui doit être signalée à l'attention. Elle est employée sur plusieurs houillères anglaises, au moyen de l'appareil Embleton ([2]). On place la lampe allumée au milieu d'un cylindre, dans lequel on admet de la vapeur de pétrole. Si, par suite d'un vice inaperçu, elle est capable de déterminer une explosion, elle la provoquera immédiatement, dans des conditions prévues et peu dangereuses, au lieu d'amener une catastrophe souterraine.

M. Lechien applique cette idée d'une autre manière. L'appareil qu'il propose est un simple tube métallique, raccordé par un robinet et un tuyau de caoutchouc avec une prise de gaz. A son autre extrémité, il est recourbé en forme de virgule circulaire, percée de trous sur sa face interne. On environne de cette spirale, comme d'une ceinture, le tamis de la lampe allumée, et, en donnant du gaz avec le robinet, on détermine une effluve qui s'enflammera si la lampe est défectueuse, et allumera tous ces petits becs de gaz. Si, au contraire, l'appareil Mueseler est en bon état, il s'éteindra dans ces conditions.

([1]) Parent, *Bull. min.*, 1re, III, 97.
([2]) *PA*, Angleterre, 269.

1163 — Jamais une lampe ne doit rester dans le chantier, lors même que les hommes ne l'abandonnent que d'une manière momentanée. Le grisou pourrait y affluer en leur absence, faire rougir le tamis, et déterminer l'explosion sous l'influence d'un courant d'air.

La lampe forme d'elle-même, par son absence de la lampisterie, le signe matériel du séjour de l'ouvrier dans le fond. Un service de contrôle doit permettre de se rendre compte, à chaque instant, du personnel descendu, tant au point de vue de la discipline que pour le cas d'un accident. Je citerai, comme exemple, celui qui a été établi par M. J. Lévy.

Chaque lampe porte un numéro d'ordre, à la fois sur le réservoir, et sur l'une des pièces de la cheminée qui en peut être détachée. Le même numéro est frappé sur une fiche métallique, et figure, en outre, sur un tableau fixé au mur, et portant des crochets de suspension. A chaque ouvrier est affecté un de ces numéros, dont on tient, avec le plus grand soin, un registre spécial. Indépendamment de ces lampes et fiches personnelles *numérotées*, il en existe une série impersonnelle *alphabétique*, destinée à remplacer les premières, quand elles sont à réparer. Celles-ci sont, en temps ordinaire, accrochées à leur place, sur un tableau spécial; mais lorsqu'un ouvrier se trouve sans lampe, on lui en remet une de la seconde série, en accrochant, à son numéro, la fiche alphabétique, et reportant sa fiche numérotée au crochet alphabétique. De cette manière, les fiches du tableau normal indiquent avec certitude la descente des hommes; tandis que le système ordinaire de la simple absence de la lampe exige, en raison de la possibilité d'une mise en réparation, des complications ultérieures qui prennent du temps, et sont sujettes à erreur, dans le trouble d'un sauvetage.

1164 — Les mines à feu nu, dans lesquelles le grisou n'a jamais été aperçu, n'en doivent pas moins posséder quelques lampes de sûreté, que l'on maintient en état de service, afin de ne pas se trouver désarmé devant une apparition imprévue.

On a fait beaucoup d'essais pour l'utilisation des huiles minérales, et des lampes ont été spécialement construites pour cette ap-

plication. Cependant, en général, un article formel du règlement proscrit l'emploi de ce combustible. M. Wolf a même proposé, en Saxe, des lampes à benzine. L'appareil Pieler est une lampe Davy alimentée à l'alcool [1].

1165 — *Postes de rallumage.* — Des lampistes spéciaux sont placés dans l'intérieur des travaux pour le rallumage des lampes [2]. Chaque chantier expédie, de temps en temps, par un gamin, ses lampes éteintes jusqu'à la cabine du lampiste, que l'on installe dans l'air pur, en la rapprochant pour cela, autant qu'il est nécessaire, du point d'entrée. Ce préposé les rouvre avec la clef, dont il est seul dépositaire, et les rallume à un feu nu, ou à une lampe de sûreté qu'il ouvre de même.

Parfois, au lieu d'un employé spécial, on laisse seulement une clef suspendue à une chaînette à la disposition de chacun; mais le premier mode est préférable.

Ce lampiste a en réserve un certain nombre de lampes, destinées à remplacer celles qui lui seraient apportées avec quelque détérioration, ou dont le tamis serait imprégné d'huile. Il prend alors note des ouvriers auxquels il les délivre.

Pour les cas où l'on peut redouter des dégagements instantanés, sans avoir cependant renoncé à l'installation d'un poste intérieur de rallumage, MM. Gérard et Lechien ont proposé une modification destinée à améliorer les conditions de sécurité. Au lieu d'un feu nu, qui amènerait fatalement l'explosion, à l'arrivée imprévue d'une effluve grisouteuse; ou d'une lampe de sûreté, qu'il serait long de dévisser et de revisser entre chaque rallumage, de telle sorte que le lampiste ne manquerait pas de la laisser souvent ouverte: ces constructeurs disposent un appareil, ayant la forme d'une lampe Mueseler que l'on aurait sciée à la base, au-dessus du récipient. Toute la partie supérieure s'enlève d'un seul morceau, et repose sur le

[1] Elle permet de déceler la présence de proportions de grisou plus faibles qu'avec la lampe ordinaire (Habets, *Rapport sur l'exposition d'hygiène et de sauvetage de Berlin.* — De Vaux, *Rev. univ. d. m. et u.*, 2e, XV, 140).

[2] Ce service se complique parfois beaucoup. Aux mines de l'Agrappe, on estime qu'il peut y avoir journellement 150 extinctions, pour 750 ouvriers.

culot au moyen d'un joint de sable. La manœuvre est donc instantanée, et l'appareil garde constamment les caractères d'une lampe de sûreté, en dehors du temps très court pendant lequel on le décoiffe pour prendre du feu (¹).

§ 6

RECHERCHE DU GRISOU

1166 — *Observation de la lampe de sûreté.* — L'étude de la flamme d'une lampe de sûreté constitue le moyen le plus ancien, le plus sûr, et le plus généralement employé pour la recherche du grisou dans les chantiers.

Indépendamment de l'examen auquel chacun doit se livrer, dans l'intérêt de sa propre sécurité, le règlement exige des visites spéciales de la part des maîtres mineurs, avant l'entrée des ouvriers, particulièrement le lendemain d'un chômage, pendant lequel le régime normal a pu être troublé, des portes laissées ouvertes, etc. La statistique a montré, en effet, que la proportion des accidents du lundi s'élève à 21,8 % en Westphalie, et à 33,5 % en Saxe, au lieu de celle du septième, ou 14 % (²). Pour peu que le gîte soit considéré comme dangereux, ces tournées se font avec des lampes à double tamis ; précaution d'autant plus nécessaire, que la lampe Davy est souvent, pour cette circonstance, substituée à celle de Mueseler, en raison de la facilité d'extinction dans le grisou, qui caractérise cette dernière.

1167 — En ce qui concerne les indices que peut fournir l'observation de la flamme, nous supposerons, pour fixer les idées, qu'il s'agisse de la lampe Mueseler du type réglementaire belge.

(¹) Haton de la Goupillière, *Bull. Soc. d'enc.*, 3ᵉ, XI, 276.

(²) *Auszug aus den Mittheilungen der Grubenverwaltungen*, etc. Freyberg, 1882. — Un accident dramatique s'est produit dans ces conditions, le 15 janvier 1868, à Neu-Iserlohn (Westphalie). Le trait venait de commencer, lorsque 81 hommes, déjà descendus, furent foudroyés par une explosion de grisou, sous les yeux de leurs camarades, qui attendaient, autour du puits, leur tour de descente (*Zeitschrift BHS*, XVI).

Ces symptômes sont au nombre de deux : 1° allongement de la flamme, 2° apparition de l'auréole bleue. La description de ces effets révélateurs a été faite avec le plus grand soin par MM. Mallard et Lechatelier [1].

La dilatation de la flamme est due à ce que, d'une part, le grisou exige, pour sa combustion, une quantité d'air spéciale, en sus de celle qui correspond à l'huile dans le régime ordinaire ; et qu'en même temps, sa présence dans l'atmosphère en abaisse la teneur en oxygène. Il faut donc, pour ce double motif, une plus grande surface d'oxydation. Malgré cela, le résultat reste incomplet, et la flamme devient un peu fuligineuse.

Avec une teneur de 0,0033 de grisou dans l'unité de volume du mélange, l'allongement est très faible ; cependant le point fixe que fournit la base de la cheminée permet encore de l'apprécier. A 0,0075 cet allongement est de 1 à 2 millimètres. Pour 0,0150 il atteint 3 à 4 millimètres. A 0,0300 la flamme s'engage fortement dans le cône, et pour 0,0400 elle y pénètre de 10 à 15 millimètres environ.

L'auréole bleue provient de la combustion du grisou qui s'effectue, en raison de la chaleur fournie par le corps de la flamme, dans



Fig. 696.



Fig. 697.

son voisinage immédiat ; tandis que la teneur de l'atmosphère ambiante reste d'ailleurs insuffisante pour permettre une combustion propre, capable de se propager d'elle-même dans le sein de la masse. On rend son observation plus appréciable en *faisant petit*

[1] *Annales*, 7e, XIX, 195.

feu, c'est-à-dire en baissant la mèche à 3 millimètres, et cachant, avec le doigt, le corps de la flamme jaune de l'huile. Celle-ci perdant son pouvoir éclairant, l'auréole apparaît avec une hauteur de 6 à 7 millimètres, dès que la proportion de grisou est de 0,02. A 0,03 elle atteint 7 à 8 millimètres (fig. 696). Pour 0,04 elle affleure la base du cône. Dès 0,05 elle s'engage dans la cheminée. A 0,06 elle s'évase, de manière à embrasser la base du cône (fig. 697). A partir de 0,07 la flamme s'éteint plus ou moins nettement, et avec certains tournoiements.

1168 — Bien que ces moyens d'appréciation soient moins aisés, au milieu des chantiers souterrains, que dans le laboratoire, ils permettent cependant d'y reconnaître la présence du grisou, quand la teneur n'est pas inférieure à 0,03. On arrive même, avec de l'habitude et du soin, à déceler la proportion de 0,02.

Malheureusement la présence d'une certaine quantité d'acide carbonique peut masquer les indications des lampes [1].

En second lieu, il existe au plafond une zône de $0^m,20$ environ de hauteur, dans laquelle les lampes pénètrent difficilement, surtout celles que l'on ne peut incliner; et c'est justement la partie la plus dangereuse, en raison de la faible densité du gaz.

Enfin, l'on ne doit jamais perdre de vue que les teneurs en grisou, dont la lampe est impuissante à rendre compte, sont tellement rapprochées de celles qui exposent à un danger imminent, qu'une cause souvent légère peut faire passer, en peu de temps, de la sécurité à une catastrophe.

1169 — *Indicateurs à écran.* — Certains moyens ont été proposés pour faciliter les observations.

M. Steavenson a conseillé [2] d'adapter à la lampe un verre bleu de cobalt, pour modifier l'aspect de la flamme; mais cette adjonction a été reconnue plus nuisible qu'utile.

MM. Mallard et Lechatelier ont cherché à dénaturer la flamme

[1] *CRM*, 1877, décembre, 7, Gonthier.
[2] *Pièces annexées* aux procès-verbaux de la Commission du grisou, 2e fasc., 98. — *Écho des mines*, 1877, 324. — *Transact. NEI*, XXVI, 135.

elle-même, en l'alimentant avec de l'hydrogène pur [1]. Elle devient par là beaucoup moins éclairante, et éteint moins la visibilité de l'auréole bleue [2], que l'on apprécie, en outre, à l'aide d'une loupe. On arrive ainsi, dans le laboratoire, à discerner une teneur de 1/4 °/₀. Mais la complication de cet appareil l'a fait abandonner par ses auteurs, pour une combinaison plus simple.

Ils ont repris, à cet effet, en améliorant l'exécution, une idée de M. Delon, qui consiste à masquer la flamme de l'huile, au moyen d'un écran interposé entre elle et l'œil de l'observateur [3]. Ces ingénieurs ont ajouté un second écran, à l'arrière de la flamme, pour empêcher l'illumination des objets situés au delà, et les réflexions qui en sont les conséquence. M. Cosset-Dubrulle a complété cet ensemble par l'adjonction d'une enveloppe métallique noircie, appliquée contre la courbure de la partie postérieure du verre (fig. 698, 699), de manière à mettre l'auréole bleue dans tout son relief [4].

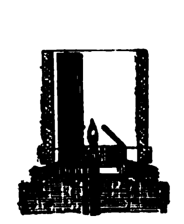


Fig. 698.
Lampe à écran
(coupe verticale).

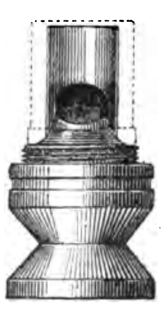


Fig. 699.
Lampe à écran
(élévation).

On a encore proposé [5] d'installer des lampes fixes, destinées à être examinées au spectroscope, par des agents spéciaux appelés *chercheurs de gaz*.

1170 — *Grisoumètres.* — Divers appareils ont été imagi-

(1) *Pièces annexées* aux procès-verbaux de la Commission du grisou, 1er fascic., 159, 2e fascic., 98.

(2) M. Pieler a cherché à obtenir le même résultat au moyen de la flamme de l'alcool, dont il considère les effets comme encore supérieurs, sous ce rapport, à ceux de l'hydrogène (n° 1164, note).

(3) *Pièces annexées* aux procès verbaux de la Commission du grisou, 1er fasc., 54, 156. — *Annales*, 7e, XIX, 206. — *CRM*, 1879, 109, 209. — *Journal des mines*, 1879, 243. — *Comptes rendus de l'Académie des sciences*, LXXVIII, 749.

(4) MM. Mallard et Lechatelier ont rédigé un tableau, indiquant avec détails les diverses apparences qui correspondent à des teneurs graduées, *Pièces annexées*, etc., 2e fasc., 103.

(5) Blanchet, *CRM*, 1876, mai, 31.

nés (¹) pour recueillir l'air des mines et en effectuer, dans le laboratoire, l'analyse chimique plus ou moins rapide, et plus ou moins complète. Mais ces méthodes sont étrangères à notre sujet.

M. Coquillon a proposé, sous le nom de *grisoumètres* (²), deux appareils, dont l'un reste, comme les précédents, destiné aux essais de laboratoire, tandis que l'autre est portatif (fig. 700), pour doser le grisou sur place dans les chantiers. Le principe employé par cet inventeur lui fournit une analyse eudiométrique sans explosion. Un fil de palladium porté à la température blanche dans un milieu grisouteux, avec un excès d'oxygène, provoque la combinaison des deux gaz, accompagnée de la disparition d'un volume double de celui du grisou (n° 995). Cette diminution est appréciée à l'aide d'une graduation, dont la lecture fournit directement la proportion de gaz.

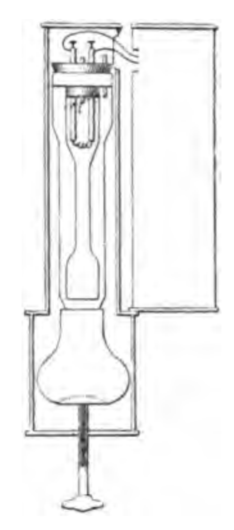


Fig. 700.
Grisoumètre Coquillon.

M. Lechatelier a reconnu que le platine peut être substitué avec avantage au palladium. Quant au moyen de porter le fil à la température blanche, on le trouve dans une pile Trouvé ou une pile Planté qui donne, au moment voulu, toute l'intensité nécessaire, en employant les intervalles à réparer ses pertes.

Les mérites de ces grisoumètres ont été très discutés. MM. Mallard et Lechatelier, chargés de leur étude par la Commission du grisou, insistent sur les difficultés pratiques de l'application de l'appareil portatif, et sur ce qu'il fournit des indications trop faibles.

(¹) Par MM. Thénard, Orsat, Chuard, Thuau, Truchot, etc. (*Annales*, 7ᵉ, VIII, 415. — *Bull. Soc. d'enc.*, 3ᵉ, VII, 295. — *Pièces annexées*, etc., 1ᵉʳ fasc., 9. — Dombre, *le Grisou*, 43).

(²) *Annales*, 7ᵉ, XIX, 187, Mallard et Lechatelier; XX, 509, Castel. — *Bull. min.*, 2ᵉ, VI, 431. — *CRM*, 1876, septembre, 35; 1877, janvier, 24; décembre, 5; 1878, janvier, 4; février, 5; 1879, 75; 1881, 197. — *Bull. Soc. d'enc.*, 3ᵉ, VII, 301. — *Pièces annexées*, etc., 92, 120. — Coulon, *Rapport* sur le grisoumètre, Rouen, 1877. — *Comptes rendus de l'Académie des sciences*, LXXXIV, 458; LXXXVII, 195.

Sous ce dernier rapport, cependant, ils le regardent comme susceptible de perfectionnements, attendu que l'appareil de laboratoire, qui est fondé sur le même principe, donne de bons résultats, quand il est convenablement employé.

1171 — M. Mounier [1] provoque, au moyen de l'électricité, une combinaison partielle du grisou et de l'air, sous forme de naphtaline, ce qui détermine, dans la capacité renfermant la prise d'essai, une dépression variable avec la teneur du mélange. Cet appareil, ingénieusement disposé quant aux détails d'exécution, paraît trop délicat pour les conditions du travail souterrain.

M. Turquan propose l'emploi d'une sonnerie électrique, déclanchée par la rupture d'un fil combustible, qui est installé à une distance déterminée de la flamme d'une lampe fixe, et détruit par l'expansion que communiquerait à cette dernière la présence du grisou.

M. Clermont indique, de même, l'usage d'une lampe Mueseler fixe, dont la flamme échauffe une petite barre métallique. Dans le grisou, la lampe s'éteint, et la barre, éprouvant un retrait, ferme un circuit qui met en action une sonnerie avertisseuse.

Le phanérogrisoumètre Gossiaux [2] renferme également, au sein de la flamme d'une lampe de sûreté, une lame métallique qui s'allonge plus ou moins, suivant l'importance de la combustion, et meut, à son extrémité, une aiguille devant un cadran.

M. Liveing [3] dispose, dans une lampe de sûreté, deux fils de platine, dont l'un reste au contact de l'air ambiant de la mine, tandis que l'autre est enfermé, avec de l'air pur, dans une enveloppe de verre. On fait passer un même courant à travers tous les deux. Le premier jette alors un éclat supérieur en présence du grisou, en raison de la combustion qui s'établit dans son voisinage. On compare les intensités, en éloignant plus ou moins de l'un ou de l'autre un écran, jusqu'à ce qu'il soit également éclairé par les deux

(1) *CRM*, 1881, 202. — *Pièces annexées*, etc., 2e fasc., 120. — *Les Mondes*, LV, 189.
(2) *CRM*. 1879, 199.
(3) *Annales*, 7e, XIX, 191; 8e, III, 31. — *CRM*, novembre, 1880. — *Engineering*, XXX, 114. — Köhler, *Lehrbuch der Bergbaukunde*, 617. — *Œsterreichische Zeitschrift*. 1880, 586.

fils. Cette appréciation ne saurait s'abaisser au-dessous de 1/2 °/₀, car les incertitudes de mesure peuvent atteindre cette limite. Néanmoins, l'appareil semble de nature à rendre des services, et mérite d'être étudié avec suite.

M. Angus Smith (1) emploie la mousse de platine au fond d'un briquet à air. La compression détermine une incandescence dont le degré varie, suivant cet inventeur, avec la teneur en grisou. Une appréciation photométrique aussi fugitive paraît placée dans des conditions bien moins satisfaisantes, que celles de l'appareil précédent.

Le docteur Irvine (2) a construit une lampe indicatrice, fondée sur le principe des flammes chantantes. Un tube étroit, en se remplissant plus ou moins de feu, suivant la manière dont s'allonge celui-ci, d'après la proportion du grisou, pourra donner naissance à ce phénomène bien connu. On a même été jusqu'à proposer l'établissement, à demeure, de pareilles lampes sur les points suspects, avec correspondance téléphonique dans le cabinet d'un surveillant spécial. Les épreuves auxquelles a été soumis cet indicateur, ont malheureusement semblé manquer de netteté.

M. Forbes (3) se fonde sur un principe analogue : celui de l'inégale vitesse du son dans les gaz plus ou moins denses. La sonorité d'un diapason, placé à l'embouchure d'un tube qui est fermé, à l'une de ses extrémités, par un piston mobile, se trouve renforcée progressivement, et le maximum se produit lorsque la longueur de la colonne est telle qu'elle lui permet de vibrer à l'unisson. Cette longueur dépend de la densité. Par conséquent, on fera mouvoir le piston jusqu'à ce que l'oreille perçoive la sensation du maximum. A ce moment, l'on déduira de la longueur indiquée par la graduation, la teneur en grisou. Il est toutefois nécessaire d'apporter, dans ces mesures, certaines corrections relatives à la température et à la pression ; complication qui est de nature à jeter beaucoup d'incertitude sur les résultats, car ces quantités sont de l'ordre même des grandeurs à mesurer.

(1) *Annales*, 7e, XIX, 192.
(2) *Rev. univ. d. m. et u.*, XXXIII, 205.
(3) *Annales*, 7e, XIX, 190. — *CRM*, 1880, 109. — *Transact. NEI*. XXIX, 171.

M. Ansell [1] se fonde sur l'endosmose. Nous avons vu (n° 1128) que lorsqu'un corps poreux, tel qu'une plaque de biscuit de porcelaine, sépare deux milieux, supposés à la même pression, dont l'un est formé d'air pur, et l'autre imprégné de grisou, le manomètre s'élève dans le premier, d'une quantité qui est proportionnelle à la teneur en grisou, et peut lui servir de mesure. Malheureusement cet appareil est peu sensible. En outre, il est sujet à erreur, en raison des influences propres de l'acide carbonique et de la vapeur d'eau, qui s'exercent en des sens contraires. Enfin, l'indication ne présente de valeur que pour une invasion un peu subite, car le maximum de dépression se dissipe bientôt. Si donc une même infection, au lieu de s'opérer d'un seul coup, s'effectue en plusieurs fois, en donnant successivement, au maximum correspondant, le temps de disparaître, le degré de contamination pourra s'élever indéfiniment, sans que l'appareil l'indique à aucun instant par une mesure correspondante.

On voit par les indications qui précèdent, que l'imagination des inventeurs s'est amplement donné carrière sur ce sujet, si important en effet [2]. Des combinaisons, pour la plupart fort ingénieuses, ont été mises en avant. Cependant ces appareils manquent de certitude. Ils présentent, en général, une grande complication, et réclament des manœuvres trop délicates pour le milieu auquel ils sont destinés. Quelques-uns se prêtent à l'observation personnelle, au moment voulu. D'autres sont proposés comme des avertisseurs automoteurs, destinés à éveiller d'eux-mêmes l'attention, quand survient le danger. Mais ces derniers risqueraient d'endormir, dans une fausse sécurité, la surveillance des agents chargés de l'observation directe, de laquelle nul aujourd'hui ne songerait à se passer.

[1] *Annales*, 7°, XIX, 188. — *CRM*, 1881, 75. — *Transact. NEI*, XV, 168, 170; XVI, 2. — Köhler, *Lehrbuch der Bergbaukunde*, 616. — Serlo, *Bergbaukunde*, II, 235. — *Œsterreichische Zeitschrift*, 1868, p. 173. — *Berg und Hüttenmännische Zeitung*, 1866, p. 216.

[2] On peut citer encore les grisoumètres de Casella, de Young, de Bagot et Apt (F. Brabant, Ventilation des mines à grisou, *Annales des travaux publics de Belgique*, XLII).

CHAPITRE XLVII

COUPS DE FEU

—

§ 1

COUPS DE GRISOU

1172 — Les explosions de grisou dont les mines de houille sont le théâtre, ont toujours eu le douloureux privilège de frapper l'attention publique. Il est facile de comprendre que, d'après l'énorme progression qu'a subie l'extraction depuis un demi-siècle, le nombre absolu des victimes ait dû nécessairement augmenter. Mais, en raison des perfectionnements apportés dans l'exploitation, en ce qui concerne la sécurité, le rapport de ce chiffre à celui de l'extraction a incontestablement diminué.

Il convient d'ajouter qu'en raison de la tendance, tous les jours plus accusée, à la concentration des ouvriers dans des travaux moins vastes que par le passé, pour un chiffre égal du personnel, l'importance que prennent les catastrophes exceptionnelles, devient de plus en plus propre à fixer l'attention générale, par l'étendue des désastres qui viennent frapper, à la fois, toute une population.

Je citerai ici, à cet égard, quelques chiffres douloureusement éloquents, en ce qui concerne le nombre des victimes tombées sur le champ de bataille souterrain :

101 à Penicraig (Cardiff), le 10 décembre 1880.
102 à Walsend (Newcastle), le 18 juin 1835.
104 à Monkfield, le 7 novembre 1883.
112 à l'Agrappe (Couchant de Mons), le 16 décembre 1875.
120 à Risca (South Wales), le 15 juillet 1880.
121 à Frameries (Couchant de Mons), le 17 avril 1879.
137 à Talk of the hill (Staffordshire), en 1866.
142 à Blackwein (South Wales), le 1er décembre 1860.
143 à Swaithe Main (Barnsley, Yorkshire), le 6 décembre 1875.
164 à Sealiam (Sunderland), le 8 septembre 1880.
178 à Ferndale (Rhoudda, South Wales), le 8 novembre 1867.
186 au puits Jabin (Saint-Étienne), le 4 février 1876.
189 à Lundhill (Barnsley), le 17 février 1857.
189 à Wood (Saint Helen's, Lancashire), le 7 juin 1878.
195 à Haydock, le 7 juin 1878.
207 à Blantyre (Lanarck, Écosse), le 22 octobre 1877.
209 à Hartley, le 20 janvier 1862.
255 à Woodfit, en juin 1878.
268 à Abercane (Monmouthshire), le 11 septembre 1878.
276 à Burgk (Saxe), le 2 août 1869.
361 à Oaks Colliery (Yorkshire), le 12 décembre 1866 (1).

La sympathie publique s'associe irrésistiblement à ces grands deuils. Mais la plus stricte justice exige que l'on signale, en même temps, la sollicitude incessante de l'Administration française, s'exerçant, tant par l'initiative individuelle de ses ingénieurs dans leurs services respectifs, que par d'importantes instructions ministérielles publiées à diverses époques (2). De grands éloges sont dus d'ailleurs

(1) Dans ces désastres, les chevaux partagent naturellement le sort des hommes. A Hetton, le 20 décembre 1860, un coup de feu a tué 65 chevaux en même temps que 22 hommes.

(2) La loi du 26 mars 1877 a institué une Commission d'étude des moyens propres à prévenir les explosions de grisou, sous la présidence de M. Daubrée. Le rapport général de cette Commission a été présenté par l'auteur de ce Cours (*Annales des mines*, 7e série, t. XVIII, pages 193 à 415). Des Commissions semblables ont été créées par les gouvernements d'Angleterre (président : M. Warington Smith, rapporteur : M. Arthur Williams); de Belgique (président : M. d'Andrimont ; rapporteur : M. Arnoult); de Prusse (président : M. Serlo; rapporteur : M. Hasslacher); de Saxe (président : M. Braunsdorf).

Déjà, trente ans auparavant, l'opinion publique s'était émue en Angleterre : une enquête parlementaire eut lieu. Le rapport fut présenté, en 1843, à la Chambre des Communes.

à nos Compagnies houillères, pour les efforts intelligents, persévérants et désintéressés, qu'elles ne cessent d'opposer à ce fléau dévastateur; ainsi que pour les organisations financières créées par leurs soins, en vue de remédier aux conséquences de ces désastres, pour les familles privées de leurs chefs ([1]).

1173 — *Causes des coups de feu.* — Les causes déterminantes de l'inflammation peuvent être une irrégularité dans le fonctionnement du foyer d'aérage, l'explosion d'une chaudière intérieure ([2]), le tirage d'un coup de mine, l'emploi des lampes à feu nu dans des travaux ordinairement exempts de grisou, le dévissage par imprudence d'une lampe de sûreté, la sortie de la flamme produite par un courant d'air, la déchirure d'un tamis ou d'un chapeau de lampe, une allumette enflammée au mépris du règlement, la présence d'un feu extérieur embrasant le gaz, dont la déflagration redescend ensuite dans le puits.

La statistique des accidents de grisou survenus en Belgique pendant une période de 59 ans, de 1821 à 1879, a fourni le tableau suivant([3]), en ce qui concerne l'importance relative des diverses causes d'inflammation :

Un rapport analogue fut fait, en 1849, à la Chambre des Lords. On peut consulter, à la même époque, le rapport du Comité des South-Shields, sur la cause des accidents dans les mines de houille (1843), le rapport de MM. de la Bèche, Lyon, Playfair et Warington Smith, sur les gaz et les explosions dans les mines de houille (1847), le rapport de MM. Tranenheere et Warington Smith, sur l'explosion de Darley, près Barnsley (1849), les publications de MM. Phillips, Blackwell, etc.

([1]) Voy. chap. XLIX.

([2]) Accident de Hetton, le 20 décembre 1860.

([3]) Dressé, ainsi que les suivants, d'après les documents insérés dans le rapport de la Commission belge du grisou (p. 209).

TABLEAU.

CAUSES D'INFLAMMATION	NOMBRE ABSOLU	PROPORTION
Emploi de la poudre.	120	29,13
Ouverture ou rupture de lampe de sûreté.	81	19,67
Emploi de la lampe à feu nu.	78	18,94
Défauts des lampes.	49	11,89
Foyers d'aérage.	19	4,61
Mouvement brusque des lampes.	10	2,43
Vitesse du courant.	9	2,18
Foyers à la surface.	8	1,94
Incendie spontané.	2	0,48
Causes inconnues.	36	8,73
TOTAL.	412	100,00

Ce tableau peut être résumé de la manière suivante :

CAUSES D'INFLAMMATION	NOMBRE ABSOLU	PROPORTION
Lampes.	227	55,11
Tirage à la poudre.	120	29,13
Foyers de toutes sortes.	29	7,03
Causes inconnues.	36	8,73
TOTAL.	412	100,00

Quant aux causes auxquelles a été rapportée la production du mélange inflammable, elles se sont classées de la manière suivante [1].

(1) En ce qui concerne la France, la Commission du grisou a pris l'initiative d'une publication détaillée, qui a été effectuée avec beaucoup de soin et de méthode, pour plus de 700 accidents, par MM. les ingénieurs des mines Petitdidier, Lallemand, Chesneau, *Annales*, 8e, I, 293 ; II, 393 ; IV, 67, 215. — On peut consulter également le Mémoire de M. l'ingénieur en chef des mines Delafond, sur les coups de feu de Saône-et-Loire, (*Pièces annexées*, etc.), 2e fasc.; l'étude sur le grisou de M. Mathet (Montceau-les-Mines, 1878); le travail de M. l'ingénieur des mines Walckenaer sur les explosions de grisou survenues dans le Durham en 1882 (*Annales*, 8e, III, 247); et celui de M. Hasslacher sur les accidents e grisou en Prusse (Chesneau, *Annales*, 8e, III, 445).

CAUSES DE PRODUCTION	NOMBRE ABSOLU	PROPORTION
Aérage vicieux ou insuffisant.	209	50,74
Soufflards, fissures, trous de sonde.	36	8,74
Arrêt du ventilateur ou du foyer.	23	5,58
Dégagements des anciens travaux.	21	5,09
Plancher établi dans un puits.	16	3,88
Ouverture de portes d'aérage.	14	3,40
Dégagements instantanés.	10	2,42
Éboulements.	9	2,18
Épuisement des eaux.	5	1,21
Dépression atmosphérique.	4	0,97
Rupture de tuyaux d'aérage.	2	0,49
Causes inconnues.	63	15,30
Total.	412	100,00

1174 — *Effets des coups de feu.* — Les hommes sont brûlés, projetés et brisés contre les parois, ou asphyxiés. S'ils ont le temps de voir venir les flammes, ils doivent se jeter ventre à terre, la figure dans l'eau ou dans la boue. On dit souvent que les victimes *ont avalé le feu.* L'intérieur des poumons est, en effet, désorganisé (¹).

La mort est parfois rigoureusement instantanée. Des ouvriers ont été retrouvés dans l'attitude même du travail, les uns arc-boutés sur leurs pelles, d'autres sur leurs manivelles (²). Dans des conditions inverses, comme à Seaham, à Burgk, elle a été assez lente, pour que les hommes aient pu laisser quelques lignes d'écriture avant de succomber.

Les boisages sont renversés. L'éboulement en est la conséquence;

(¹) Le docteur Riembault a proposé un *costume à grisou*, destiné à éviter ces effets, tant à l'intérieur du corps qu'à l'extérieur. Il se compose d'une sorte de masque d'escrime, et d'une blouse, dont les tissus sont imprégnés de silicates solubles (*CRM*, 1881, 140).

(²) Expériences du Dʳ Regnard sur le mécanisme de la mort par les explosions de grisou, *Pièces annexées*, etc., 2ᵉ fasc., 226. — Programme des observations médicales à effectuer au moment même d'une explosion de grisou (*ibidem*, 1ᵉʳ fasc., 158). — *Bulletin* de la Société de biologie, 28 février 1880. — *Gazette médicale*, 1880, 208, 209. — Bourguet, *Considérations sur la marche et les résultats de l'explosion du grisou*, 1877, in-8°.

par suite, l'obstruction des chemins d'air, et des galeries par lesquelles pourrait s'effectuer le sauvetage. Ces complications funestes sont aggravées par la persistance de quelques exploitants à considérer les retours d'air comme des voies sacrifiées, et à les établir sur une petite section, contrairement aux règles qui ont été formulées à cet égard (n° 1050).

Les cloisons sont détruites, les portes renversées; le foyer d'aérage, le ventilateur, souvent disloqués. L'aérage est donc interrompu, et avec lui la possibilité de rentrer directement dans les travaux.

Les soufflards restent allumés, lorsqu'ils trouvent encore assez d'oxygène. Ils feront donc de nouveau sauter la mine, si le grisou continue à l'envahir. Ils pourront également communiquer l'incendie au charbon, ou aux bois de soutènement.

Les guidonnages sont quelquefois déviés, et la descente des cages rendue impossible. Une épaisse colonne de fumée, et même des flammes livides s'échappent par l'orifice des puits.

Après la première expansion arrivent le refroidissement, la contraction des gaz, et la condensation de la vapeur d'eau. Il en résulte un choc en retour, suivi de quelques oscillations, dont la violence va en diminuant.

La confusion, le désespoir règnent aux abords des puits, et cependant jamais l'ordre et la présence d'esprit n'ont été plus nécessaires, pour procéder aux mesures de sauvetage.

§ 2

EXEMPLES

1175 — Pour préciser davantage cette description, je compléterai ces indications générales, par une esquisse de quelques-uns des plus lugubres coups de feu, qui aient frappé l'attention publique en France, en Angleterre[1], en Belgique, et en Allemagne.

(1) Je signalerai en outre le coup de feu de Blantyre (Sauvage, *Annales*, 7e, XIII, 599, *Bulletin*); celui d'Abram (Maurice Luuyt, *Annales*, 8e, V, 97); celui du puits Ste-Barbe de Graissessac (Bourguet, *Considérations générales* sur la marche et les résultats de l'explosion du grisou, in-8°, Paris, 1877; et celui de Bézenet (*CRM*, 1882, 157).

Puits Sainte-Eugénie (Montceau-les-Mines), — 89 victimes, — 12 septembre 1867. — L'ancien puits Cinq-Sous a été le théâtre de

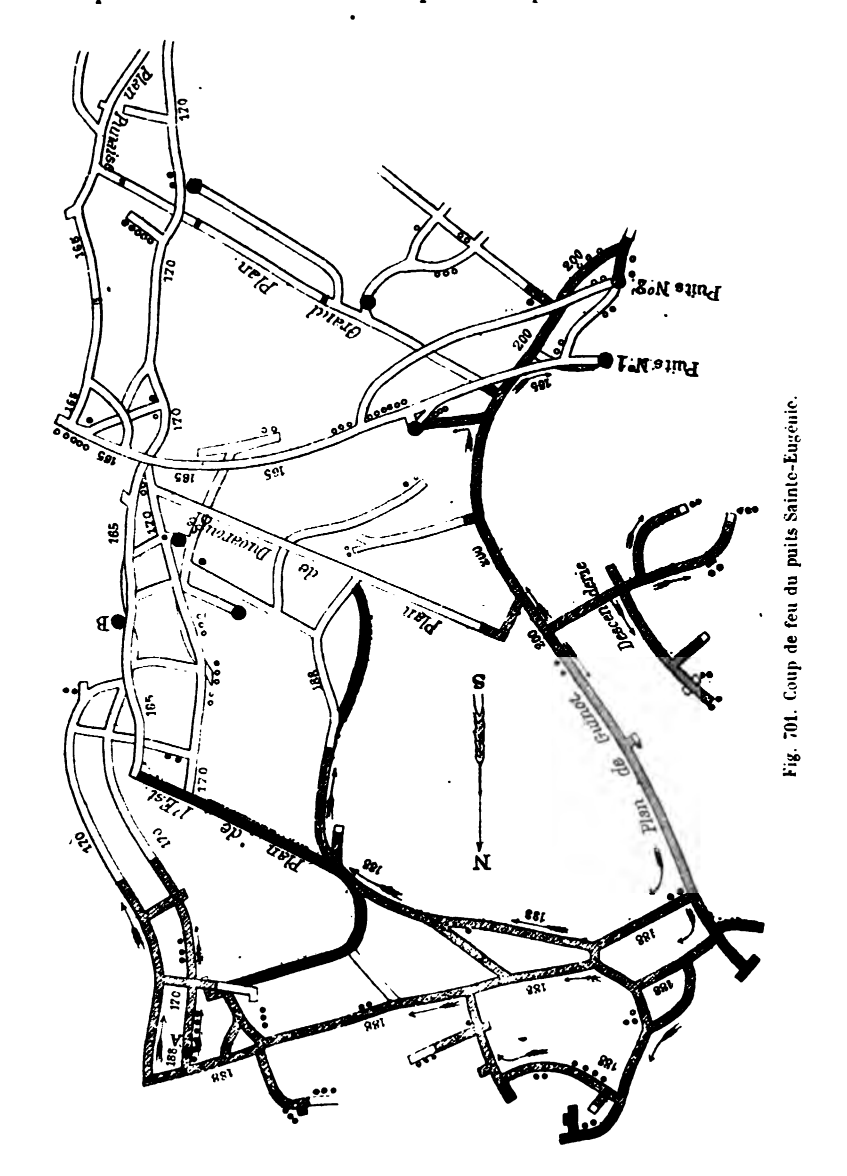


Fig. 701. Coup de feu du puits Sainte-Eugénie.

plusieurs explosions[1]. La plus meurtrière eut lieu en 1867, et de-

[1] Delafond, *Pièces annexées*, etc., 2e fasc , 10. — Mathet, *Étude sur le grisou*, 45.

vint l'occasion du changement de nom de ce quartier, qui fut appelé depuis Sainte-Eugénie.

L'air entrait par le puits n° 2 (fig. 701), suivait la costresse du

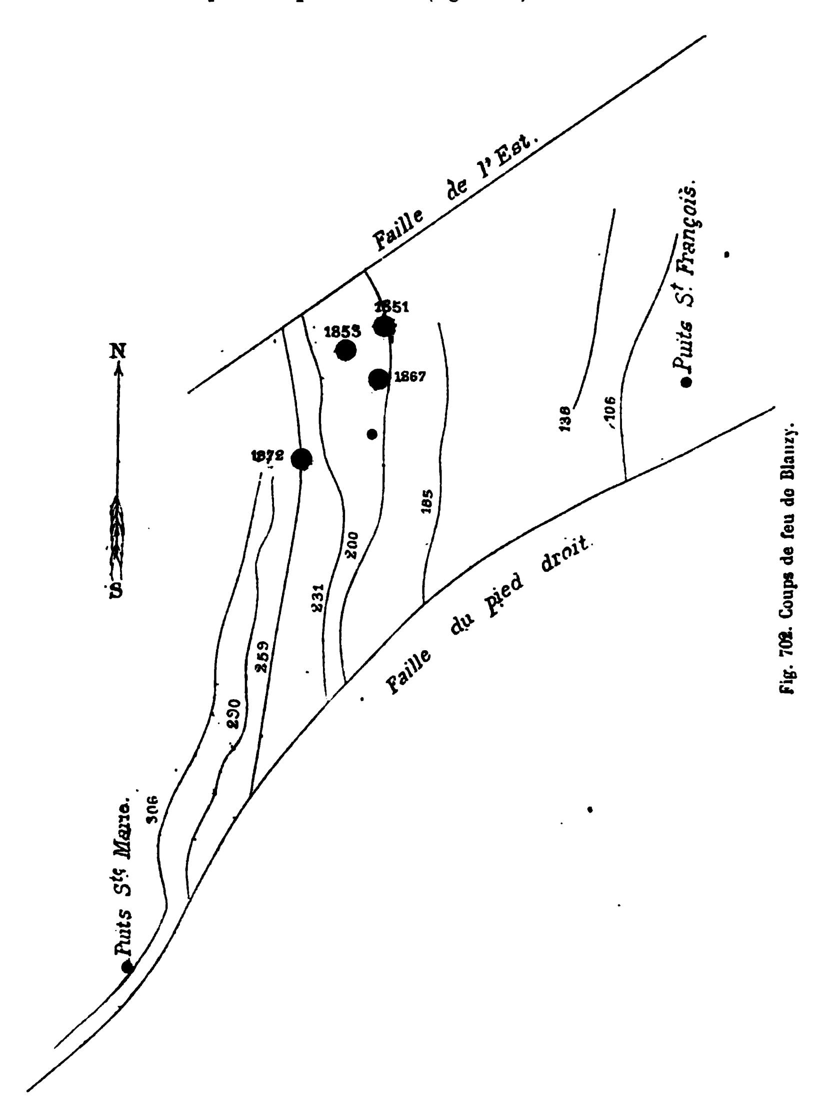


Fig. 702. Coups de feu de Blanzy.

niveau de 200 mètres, montait, le long du plan incliné de Guinot, au niveau 188, parcourait les dépilages du Nord, qui se trouvaient alors en neuvième tranche horizontale, passait, par le

bure A, dans le niveau 170, et par le bure B, dans le niveau 165, qu'il suivait jusqu'au puits n° 1. Quelques travaux antérieurs avaient été remblayés. Ils sont figurés en noir sur le plan. Une descenderie était attaquée à l'aval-pendage du niveau 200. Le grisou s'y était montré, sans abondance du reste, ainsi que dans le quartier du Nord. La mine était ventilée par aérage naturel.

1176 — Le 12 septembre 1867, à onze heures du matin, une formidable explosion anéantit tous les ouvriers de ces deux régions. Quelques autres succombèrent en divers endroits. On a marqué sur le plan, autant que possible, leur situation par des points noirs; les petits cercles blancs figurant les hommes simplement blessés, ou sauvés. On admet que l'inflammation partit de la descenderie, dans laquelle se produisirent des éboulements considérables. Les flammes s'étendirent à partir de là, suivant le sens marqué par les flèches. Le plus grand développement de l'explosion s'étendait vers le Nord, où la ventilation avait dû, en effet, entraîner le grisou exhalé par la bouche de la descenderie. Les ouvriers placés sur le parcours étaient brûlés; ceux des ouvrages en cul-de-sac, pour la plupart, asphyxiés.

Les diverses explosions du puits Sainte-Eugénie ont eu lieu aux dates suivantes : 23 avril 1851 (6 victimes), 29 septembre 1853 (13 victimes), 12 décembre 1867 (89 victimes), 8 novembre 1872 (41 victimes) : total 149 morts. Les points de départ de ces catastrophes sont marqués sur la figure 702, et manifestent, par leur groupement, l'existence d'une région particulièrement dangereuse, dans le voisinage de la faille de l'Est.

1177 — *Puits Jabin* (Saint-Étienne, Loire) — 186 victimes — 4 février 1876. — Le puits Jabin [1] avait été déjà, en novembre 1871, le théâtre d'une première explosion, dans laquelle 70 hommes perdirent la vie. La mine se trouvait, depuis cette époque, pourvue de tous les moyens de sûreté. L'aérage était fourni par un Guibal, de 9 mètres de diamètre et 2 mètres de largeur. Il marchait à 48 tours,

[1] Burat, *Pièces annexées*, etc., 1er fasc., 31. — Mathet, *Étude sur le grisou*, 61.

au moment du coup de feu, et devait, à cette allure, fournir près de 20 mètres cubes par seconde, avec une assez forte dépression. L'éclairage se faisait avec des lampes Mueseler, munies de la fermeture Villiers (n° 1154). Le tirage à la poudre était sévèrement réglementé, et les coups de mine devaient être allumés par les chefs de poste. Des portes Verpilleux (n° 1196) avaient été installées au point V (fig. 705). Elles furent retrouvées tordues. Elles avaient donc fonctionné, mais en laissant passer le feu.



Fig. 705. Coup de feu du puits Jabin.

Le puits a 320 mètres de profondeur, et sert à exploiter la 8e couche du système moyen de Saint-Étienne. Elle présente une faible inclinaison de 12 à 15 °/o, et une puissance de 2m,50 à 3 mètres séparée en deux par un nerf, qui forme un faux toit pour les 2 mètres du mur, seuls exploités. La *crue* du toit n'était enlevée que dans la région marquée en pointillé (fig. 705), pour laquelle l'entre-deux prend plus d'importance. On extrayait 350 tonnes par jour, avec 200 ouvriers environ. L'importance de ce rendement tient à la faible consistance du charbon gras et poussiéreux, qui donne

beaucoup de menu. On observait très rarement le grisou dans les dépilages, et quelquefois dans les traçages, aux approches des failles, qui forment, pour le champ d'exploitation, une limite naturelle.

En s'éloignant du puits on avait dirigé, dans les deux sens, une maîtresse-voie horizontale, à partir de laquelle on s'était élevé dans l'amont-pendage, par des plans inclinés reliant les costresses. Le dépilage de cette région tirait à sa fin. On remblayait complètement, sans pourtant parvenir à empêcher des tassements, qui s'étendaient, sur certains points, jusqu'à la surface. Les chantiers se trouvaient, pour la plupart, en amont des parties dépilées, auxquelles ils servaient d'exutoires naturels.

L'air, entrant par le puits Jabin, se répartissait en deux circuits. Celui du nord-est se divisait lui-même en deux branches. L'une d'elles suivait le trajet ABCD, pour gagner le puits de retour d'air, en empruntant, pour une partie de ce parcours, les travaux de la veine du toit, marqués en pointillé. La seconde branche, montant par le plan incliné, parcourait AECD. Enfin, le courant du sud-ouest suivait le trajet FD. Sur un point de son développement, voisin de l'extrémité terminale, se trouvait une descente, que l'on n'avait pas jugée dangereuse, en raison de la faiblesse de l'inclinaison.

1178 — Le 4 février 1876, à 2 heures 40 minutes de l'après-midi, on entendit, à la surface, une légère détonation, et l'on ressentit, en même temps, un certain ébranlement du sol. On vit immédiatement sortir par le puits Jabin, qui servait à l'entrée de l'air, aussi bien que par le puits Saint-François, du ventilateur, d'épaisses colonnes de fumée noire. La première ne persista qu'un instant, et le mouvement des cages ne fut pas entravé pour le sauvetage. Celle du puits de sortie persista pendant plusieurs heures, en décroissant peu à peu. Cependant le ventilateur ne fut pas arrêté.

L'explosion, dont le point de départ précis est resté inconnu, s'était propagée jusqu'aux accrochages. On a lieu de penser qu'elle s'est produite dans le quartier Neyron, qui a dû être cerné, en raison de l'incendie, et rester depuis lors inaccessible, malgré la présence d'un grand nombre de cadavres que l'on a été contraint d'aban-

donner. La cause de l'inflammation est restée problématique. L'explosion a été extrêmement violente. De grands éboulements, des berlines de tôle aplaties, des lampes tordues, en multipliaient les preuves. Le caractère le plus saillant de cette catastrophe est le grand développement du parcours du coup de feu. On a cherché à l'expliquer, soit par une trop grande vitesse de l'aérage (n° 1020), soit par l'intervention des poussières (n° 1190), en raison de la grande quantité de croûtes de coke qui recouvraient les parois.

1179 — *Burgk* (bassin de Plauen, Saxe royale), — 276 victimes, — 2 août 1869. — La mine[1] se trouvait en communication avec le jour par deux puits rectangulaires : Segen-Gottes, de 5^m,94 sur 1^m,98 et 493 mètres de profondeur; Neu-Hoffnung, de 4^m,05 sur 1^m,41 et 396 mètres de hauteur. L'air entrait par le premier, et sortait par un compartiment de 3^{m2},52 pratiqué dans le second. L'extraction journalière comprenait 500 tonnes d'un combustible un peu pyriteux, assez inflammable spontanément, placé sur la limite des houilles sèches à longue flamme et des houilles grasses. La puissance est de 4 mètres en moyenne, la direction E.-S.-E ; le plongement varie de 10 à 20 degrés S.-S.-O. La formation renferme des nerfs siliceux, elle est fréquemment rejetée de quelques mètres. C'est dans ces parties accidentées que l'on trouve quelques soufflards.

Cependant la mine avait toujours passé pour être très peu grisouteuse, au point que l'on se servait de lampes à feu nu, et que l'on s'abstenait de faire des tournées de vérification le lendemain des chômages, si ce n'est dans quelques parties suspectes. L'aérage était naturel, sous l'influence d'une dénivellation de 19^m,40 entre les orifices des deux puits. La mine communiquait encore avec l'extérieur par une galerie en descente, mais sans relation avec l'aérage. La ventilation était descendante, dans une partie du parcours. Pour l'activer, on injectait de la vapeur, à une petite profondeur, dans le puits de sortie, dont elle élevait la température jusqu'à 52 degrés.

L'exploitation se faisait par massifs longs, de 20 mètres de relevée.

(1) *PA*, Allemagne, 79.

On dépilait en battant en retraite, par ouvrages montants contigus de 4 mètres, conduits un peu obliquement sur l'inclinaison. On enlevait une hauteur de 2^m,85 et l'on reprenait ce que l'on pouvait du reste en déboisant. L'éboulement se propageait parfois à d'assez grandes hauteurs. On travaillait à la poudre.

1180 — Le lundi 2 août 1869, on vit une centaine d'hommes manquer à l'appel, à la suite d'une fête qui avait eu lieu pendant le chômage de la veille. 281 ouvriers étaient descendus, depuis une heure environ, lorsqu'à 5 heures 45 minutes du matin, se produisit l'explosion. Une épaisse colonne de fumée et de poussière sortit par les deux puits. Ce ne fut qu'au bout d'un quart d'heure qu'elle cessa dans le puits Segen-Gottes, et que l'on put rentrer à la faveur de l'air frais; mais on ne parvint que le lendemain soir au pied du puits de sortie.

Au moment même de l'accident, le mécanicien de Neu-Hoffnung, recevant le signal du fond, enleva la cage. Elle renfermait deux hommes asphyxiés, que l'on put rappeler à la vie. Ils venaient de descendre, et avaient remarqué un coup d'air, qui avait légèrement soulevé la cage. Ils s'étaient déjà avancé d'une vingtaine de mètres dans le travers-bancs, lorsqu'en voyant arriver un nuage noir de poussière, ils s'enfuirent et se précipitèrent dans la cage. L'envoyeur donna le signal, sans avoir le temps de s'embarquer lui-même, frappé à mort par le gaz irrespirable, et tenant encore sa corde à la main.

Au bout d'un quart d'heure, trois ouvriers sortirent par la descenderie, fuyant l'explosion dont il avaient entendu le bruit; ces cinq hommes échappèrent seuls à la mort. Sur les 276 autres, 142 furent atteints par l'explosion, et 135 périrent par l'asphyxie. Un grand nombre d'entre eux, réfugiés dans un cul-de-sac montant, résistèrent pendant plusieurs heures, comme on le reconnut par les papiers qu'ils eurent le temps d'écrire.

Deux mois après, les 276 cadavres étaient sortis, et la mine prête à reprendre le travail. Les ravages matériels étaient peu considérables, bien que le champ sur lequel s'était étendue l'explosion fût de 1300 mètres en direction, et 640 mètres en inclinaison. Des croûtes de coke furent retrouvées sur les bois.

On remarqua que les jours précédents avaient été signalés par une température très élevée, atteignant 24 degrés centigrades en moyenne, et 34 au maximum. Le baromètre avait éprouvé, le même jour, une baisse de 9 millimètres. La veille était un jour de chômage, ainsi que nous l'avons dit, et une partie du puits de retour se trouvait encombrée par un plancher de réparation. Cependant les indices recueillis montrent que la ventilation était encore suffisante. On ne peut se dispenser d'insister sur ce point, que la mine est passée subitement d'un état à peine suspect, et constituant une exploitation faiblement grisouteuse, à une catastrophe, qui occupe, par le nombre des victimes, le second rang sur la funèbre liste des sinistres souterrains. En outre, cette explosion d'un ensemble de travaux aussi vastes, s'est produite avec un aérage relativement faible, contrairement à la théorie qui a cherché à expliquer, par une trop grande activité de la ventilation, l'expansion des déflagrations intérieures (n° 1020).

1181 — *Brückenberg* (bassin de Zwickau, Saxe royale). — 89 victimes. — 1er décembre 1879. — Le puits n° 2 de Brückenberg (1), de 5m.25 sur 2m.55 traverse, à 560 et à 600 mètres, la couche supérieure et la couche inférieure, toutes les deux de 4 mètres de puissance, dirigées à l'est, et plongeant de 10 degrés au nord. L'extraction était de 300 tonnes d'un combustible intermédiaire entre les houilles grasses et les houilles sèches à longue flamme. Le traçage se faisait sur 4 mètres de hauteur, et 3 mètres de largeur.

La couche inférieure, quoique la plus grisouteuse, avait toujours fourni assez peu de gaz pour que l'on conservât la lampe à feu nu, sauf pour les visites effectuées le lendemain d'un chômage. Des lampes éternelles brûlaient dans la mine, pour la destruction du grisou (n° 1126). La ventilation était de 3 mètres cubes par seconde, circulant avec une vitesse de 0m,25. La totalité du courant entrait par le puits n° 2. Une partie aérait la couche supérieure, en se rendant au puits n° 4, situé à une distance de 540 mètres, avec une différence d'altitude de 34 mètres entre les deux orifices. Le reste du

(1) *PA*, Allemagne, 93.

débit ventilait la couche inférieure, et s'y séparait encore en deux circuits. L'une des dérivations, revenant dans le banc supérieur, se rendait au n° 4, avec le courant spécial à cette couche. La seconde retournait à un goyot d'aérage de 1^{m2},50 pratiqué dans le n° 2, avec un tirage actionné par la cheminée des chaudières à vapeur.

1182 — Le 1er décembre 1879, un coup de mine tiré à la profondeur de 584 mètres, pour la préparation d'un nouvel accrochage, creva la cloison d'aérage. Il en résulta un certain trouble dans la ventilation, et, par précaution, l'on éteignit les lampes éternelles. Vers 9 heures du soir, la cloison était réparée.

Entre 10 heures et demie et 10 heures trois quarts, l'explosion se produisit. Quelques hommes de la couche supérieure eurent le temps de fuir par le puits n° 4. D'autres ouvriers de ce chantier se portèrent au secours du personnel de la couche inférieure. Ils furent trouvés morts, en même temps que ceux qui fuyaient ce quartier. 28 mineurs furent atteints par le coup de feu, 61 furent asphyxiés d'une manière foudroyante, si l'on en juge par l'état où furent retrouvés les corps. Cependant les gaz méphitiques paraissent avoir voyagé avec la lenteur du courant ordinaire, comme l'indiquaient les distances que les victimes avaient eu le temps de parcourir, avant de tomber.

Des croûtes de coke recouvraient les boisages. Les dégats matériels furent peu importants, car, au bout de 60 heures, les cadavres étaient retirés. La cloison d'aérage avait été de nouveau renversée, ce qui eut pour résultat la désorganisation du courant, qui se dirigea tout entier vers le n° 4, en promenant, dans ce parcours unique, la mort à travers toute la mine.

1183 — *Penicraig* (Cardiff, Sud du pays de Galles), — 101 victimes, — 10 décembre 1880. — Les travaux, ouverts seulement depuis un an, étaient encore dans la période préparatoire (1). L'abatage était extrêmement actif; la couche, grisouteuse, et

(1) Aguillon, *Annales*, 1881. — Explosion zu Penicraig (*Œsterreichische Zeitschrift f. B. u. H.*, 1881, 11, 124).

sujette à des venues subites de gaz. Elle s'étend dans quelques exploitations voisines, où elle avait été le théâtre de plusieurs explosions graves. A une hauteur de 30 mètres environ, se trouvent, dans le toit, deux couches minces, exceptionnellement grisouteuses, dont on avait capté le gaz pour éclairer la surface. Le retour d'air général présentait une teneur de 2 °/₀ de grisou.

On exploitait sur 2 mètres de hauteur, avec remblayage formé, en partie, de menu charbon abandonné. Ces remblais insuffisants laissaient ouverts de grands vides, jusqu'à la tombée du toit. On comprend, d'après cela, dans quelles détestables conditions se trouvaient les vieux travaux. La plus grande partie du chantier était située en amont-pendage de la galerie d'aérage, et ses montages en cul-de-sac ventilés au moyen de toiles pendantes, qui les divisaient en deux travées.

La mine était sèche, et le sol recouvert d'une épaisseur de dix centimètres de poussière. On s'éclairait avec des lampes Clanny, dans le sein de courants, qui pouvaient avoir d'assez grandes vitesses. L'enquête a montré qu'un affaissement du toit s'est produit dans la région d'où est partie l'explosion. Cette circonstance devait, dans d'aussi mauvaises conditions, être accompagnée d'un dégagement de grisou.

1184 — Le coup de feu se produisit la nuit, pendant le poste de réparation. Le feu parcourut toute la mine. On y trouva des croûtes de coke en quantité considérable. Sur 106 ouvriers occupés dans l'intérieur, 101 furent tués ; la plupart brûlés, quelques-uns pris dans les éboulements. Leur mort fut assez rapide pour qu'aucun n'eût le temps de fuir. Ils furent retrouvés à leur place même de travail. La plupart étaient à genoux, la figure à terre, cachée entre leurs mains.

1185 — *Seaham* (Sunderland), — 164 victimes, — 8 septembre 1880. — La couche principale était peu grisouteuse [1], la surveillance attentive [2], l'étendue des travaux considérable ; les quartiers

[1] Abel, *Annales*, 7e, XX.
[2] Pourtant une explosion avait déjà fait 21 victimes en 1871.

en activité occupaient environ 250 hectares, et la partie abandonnée 600 hectares. La plupart des voies d'air avaient 2 ou 3 kilomètres de longueur. Les puits sont voisins les uns des autres. Les courant se croisaient fréquemment dans leurs environs, en passant dans des coffres peu résistants.

1186 — L'accident se produisit à la profondeur de 466 mètres. Le coup de feu détruisit le réseau de la ventilation, en crevant les crossing. L'aérage se trouva ainsi supprimé dans toute la mine. C'est incontestablement à cette vicieuse disposition, que l'on doit rapporter les énormes ravages exercés par l'asphyxie. 5 seulement des ouvriers de la mine ont en effet survécu ; et, parmi les 164 victimes, 3 ont succombé à des brûlures, une dizaine à des fractures, et 150 à l'asphyxie. Des inscriptions à la craie, retrouvées de divers côtés, ont montré que, pour beaucoup, la mort avait été lente à venir. Les traces les plus importantes de l'explosion se manifestaient dans les galeries d'entrée d'air et au voisinage des puits, très loin des chantiers. On n'a, nulle part, observé la présence de croûtes de coke.

1187 — *Oaks Colliery* (Yorkshire), — 361 victimes, — 12 décembre 1866. — La mine des Chênes [1] se trouve à deux kilomètres de Barnsley, entre Leeds et Sheffield. La partie exploitée couvrait 122 hectares, les travaux s'étendaient dans une seule couche, *main coal*, et cette circonstance, en supprimant le drainage du gaz, que des exploitations superposées exercent d'ordinaire les unes sur les autres, était de nature à accroître l'invasion lente du grisou, souvent activée par de violents *out burst*. Cette couche a $2^{m},40$ de puissance, et 1/12 d'inclinaison vers l'est. Elle est formée d'une houille grasse à longue flamme, évaporant $8^{k},1$ d'eau. La production journalière était de 680 tonnes.

Trois orifices servaient à l'exploitation. Deux puits jumeaux étaient affectés à l'extraction, chacun pour une seule cage, sur une profondeur de 260 mètres. Une fosse de $3^{m},28$ de diamètre recevait le retour d'air. Les travaux s'étendaient jusqu'à 150 mètres en aval-

[1] Coince, *Rapport* de mission à la Compagnie d'Anzin. Paris, Chaix, 1868. — Embleton, *Transact. NEI*, XXV, 29.

pendage des puits, desservis par une traction mécanique. La méthode suivie était le longwall, avec des fronts de taille de 70 à 450 mètres, partagés en redans de 20 ou 40 mètres, et un développement total de 1600 mètres. Ils étaient dirigés parallèlement au clivage, et conduits ordinairement en montant. Des galeries perpendiculaires au front de taille conduisaient à des voies tiernes, aboutissant elles-mêmes à la galerie de niveau. L'ensemble était complètement solidaire, sans division en panneaux séparés. Les fronts de taille étaient soutenus par des piles de bois, que l'on reportait consécutivement, en laissant ébouler en arrière. Cet immense goaf, placé en aval-pendage, formait ainsi un réservoir désastreux, d'où le gaz était susceptible de sortir sous les moindres influences.

L'aérage était fourni par un foyer, installé au puits de sortie, et alimenté avec 8 mètres cubes d'air pur, venant directement du puits d'entrée. Un rampant de 64 mètres aboutissait à ce puits. On obtenait ainsi un débit de 75 mètres cubes. Les 67 mètres cubes appelés à passer dans les travaux acquéraient un volume de 76 mètres cubes par l'échauffement, et l'adjonction du grisou. Ils retombaient ensuite à 70 mètres cubes, en raison d'un certain refroidissement, aux approches du puits de sortie. Le courant d'entrée se divisait immédiatement en quatre ramifications; la première n'atteignait pas une dépression de 25 millimètres d'eau.

Malgré un tel envoi d'air, les lampes avaient beaucoup marqué dans les jours précédents, en se remplissant de flammes. On employait le type Stephenson depuis l'accident de 1847, qui avait déjà fait 73 victimes. Avant cette époque, on s'éclairait avec des chandelles. 21 becs de gaz, alimentés par un captage de grisou, brûlaient encore à feu nu près du puits d'entrée, et dans la partie supérieure du plan incliné. Enfin, une lampe à feu nu, destinée uniquement au rallumage des lampes éteintes, se trouvait loin du puits et près des tailles.

1188 — C'est à cette dernière imprudence que l'on peut rapporter l'explosion, survenue le 12 décembre 1866, à une heure et quart de l'après-midi, au moment de la plus grande activité, et du maximum de température. Un bruit sourd annonça une détonation

souterraine. Des colonnes de fumée et de poussière s'élevèrent par les trois fosses. Au bout de vingt minutes, l'air rentra par les puits d'extraction.

Après une heure employée à réparer les cages, les ingénieurs descendirent et retirèrent 20 hommes, seuls survivants des 340 ouvriers engagés dans la mine. 14 d'entre eux succombèrent ultérieurement aux suites de leurs blessures. Avec le concours de 221 volontaires fournis par les mines voisines, on activa la rentrée, et, le 13 au matin, on avait déjà retiré 61 cadavres, les uns affreusement brûlés, les autres ayant succombé à l'asphyxie. A ce moment, un survivant de l'explosion de 1847 remarqua un changement dans l'atmosphère, et donna l'alarme. 90 hommes se précipitèrent aux cages; une seconde explosion se produisit, suivie, trois quarts d'heure après, d'une troisième. On reconnut alors l'impossibilité absolue de rentrer dans la mine, bien que 28 personnes, parmi lesquelles 24 volontaires, manquassent encore à l'appel.

La nuit suivante, vers quatre heures du matin, la sonnette du fond s'agita dans la chambre des machines. L'ingénieur de garde appela dans le puits. Une voix lui répondit. On improvisa rapidement des moyens de descente, en mettant en pression une machine d'atelier, et dressant un petit chevalement. Pendant ces préparatifs, on descendait, à l'extrémité d'une corde, une bouteille d'eau additionnée d'eau-de-vie. La corde remonta sans la bouteille, qui avait été détachée. MM. Mammatt, ingénieur des Oaks, et Embleton, volontaire, descendirent alors dans un tonneau. Ils constatèrent qu'une importante venue d'eau s'était formée dans le puits, à 91 mètres de la surface. Le puisard était plein. Ils abordèrent avec de grandes difficultés, et, à la clarté de l'incendie d'un train de wagons, ils aperçurent, devant la cabine du lampiste, un homme assis sur des débris, avec la bouteille sur ses genoux. Pendant leur embarquement, la tonne chavira; l'ingénieur tomba dans le puisard, mais il put heureusement se retenir d'une main, et reprendre place dans la tonne, qui remonta au jour.

Aucune voix n'avait répondu, dans les travaux, aux appels réitérés de ces hommes courageux. Ce fut le dernier effort; nulle tentative n'était plus possible. *Dix-sept* explosions se succédèrent; la dernière

eut lieu le 18 décembre, à trois heures et demie du matin. La mine fut abandonnée pendant longtemps, afin que la privation d'air pût étouffer les incendies souterrains. Telle fut cette catastrophe, sans exemple dans les annales de l'exploitation souterraine.

1189 — *Frameries* (*Couchant de Mons*), — 121 victimes, — 17 avril 1879. — La violence du coup de grisou de l'Agrappe [1] a dépassé ce qu'on avait jamais observé jusqu'alors, comme déchaînement de ce fléau destructeur. Les travaux s'étendaient aux étages de 520 et 550 mètres. Cinq ouvriers étaient occupés à un travail préparatoire, au niveau de 610, dans la veine *Épuisard*, de $1^{m},34$ de puissance, et très grisouteuse. Le front de taille, sur le théâtre du sinistre, avait 10 mètres de longueur.

Le 17 avril 1879, vers sept heures du matin, on remarqua que le puits n° 2 de l'Agrappe, servant à l'extraction et à l'entrée d'air, exhalait un courant de gaz fétide. Bientôt après, l'atmosphère s'alluma au poêle de la salle des machines, et une violente détonation se produisit. Le mécanicien fut tué, et dix personnes plus ou moins brûlées à la recette et dans la lampisterie. Une immense gerbe de flamme s'éleva dès lors, et ne cessa de brûler pendant trois heures, avec un diamètre égal à celui du puits : $3^{m},60$ et une hauteur d'environ 40 mètres. D'après le mouvement des corps solides qui se trouvaient entraînés, on put évaluer la vitesse de ce *volcan de grisou*, suivant l'expression de M. Laguesse, à 4 ou 5 mètres par seconde; et son volume à *plus de* 100,000 *mètres cubes*. 420 mètres cubes de charbon broyé et pulvérisé avaient été poussés, par l'explosion, dans la galerie et jusqu'au puits.

Pendant les premiers temps, aucune détonation souterraine ne se produisit; mais quand la violence du dégagement vint à se ralentir, l'air commença à rentrer de divers côtés, et à former des mélanges détonants. Neuf explosions se succédèrent de quart d'heure en quart d'heure, d'une manière à peu près régulière. La dernière eut lieu au bout de trois heures et demie.

[1] Mallard et Vicaire, *Annales*, 7e, XV, 575. — Meurgey, *CRM*, 1879, 161, 232. — *Bull. Soc. d'enc.*, 3e, VI, 442. — *Recueil* des procès-verbaux de la Commission belge du grisou, p. 149. — Arnoult, Dégagements instantanés.

Plus de 200 ouvriers étaient enfermés dans l'intérieur. En entendant le bruissement formé par l'écoulement du grisou dans le puits d'extraction, ils cherchèrent une issue par le puits d'aérage et par celui d'épuisement. Mais l'incendie, qui dévorait toute la surface, ne leur permit pas de sortir. Les charpentes embrasées s'abattaient de toutes parts. A trois heures et demie on put aborder le puits d'aérage, et l'on sauva 87 ouvriers réfugiés sur ce point. On apprit alors avec consternation que le plus grand nombre, croyant le courant d'air renversé, et craignant que l'on ne remît en marche le ventilateur, ce qui eût ramené sur eux les gaz méphitiques, étaient redescendus aux accrochages inférieurs. Les éboulements qui s'étaient produits, depuis ce moment, rendaient impossible de les atteindre. Ce ne fut que le dimanche suivant, quatre jours après l'incendie, que l'on put redescendre dans le puits d'extraction, et sauver, d'une manière inespérée, cinq personnes qui étaient remontées au niveau de 580, et qui, plongées dans une somnolence léthargique, croyaient être restées vingt-quatre heures dans la mine.

§ 3

COUPS DE POUSSIÈRE

1190 — *Étude du phénomène.* — Les poussières fines de houille constituent un danger par elles-mêmes, et surtout pour l'appoint qu'elles apportent aux effets destructeurs du grisou. Cette influence a été signalée, pour la première fois, en 1845, par Faraday et Lyell [1], et, en France, par M. l'inspecteur général des mines du Souich, en 1853 [2]. La question a été traitée, depuis lors, par un grand nombre d'ingénieurs, et a fait l'objet de nombreux mémoires [3]. Elle a été reprise en dernier lieu par la Commission du

[1] *Bull. Soc. d'enc.*, 3ᵉ, V, 34, note 1. — *Philosophical Magazine*, XXVI, 16.

[2] Rapport sur l'accident du puits Charles, à Firminy.

[3] Abel, *Annales*, 7ᵉ, XX. — Vital, *Annales*, 1875, 186. — Desbief et Chansselle, *Bull. min.*, 2ᵉ, IV, 205. — Baretta, *CRM*, 1882, 108. — Relation du coup de poussière de Bézenet (*CRM*, 1882, 157). — Delafond, *Pièces annexées*, etc., 2ᵉ fasc., p. 7 à 61. — Galloway (*Annales*, 7ᵉ, XI, 229 ; *Bull. min.*, 2ᵉ, VI, 799 ; VII, 617 ; IX, 157 ; *Bull. Soc*

grisou, au moyen d'une importante série d'expériences exécutées par MM. Mallard et Lechatelier (1). Le travail publié par ces savants ingénieurs a jeté une grande lumière sur cette grave question.

On sait depuis longtemps que des matières combustibles de natures très diverses sont susceptibles de faire explosion, quand elles sont réduites en poussière très fine, en raison de la valeur considérable que prend alors le rapport de la surface exposée à l'action de l'oxygène, à la masse qui subit cette oxydation. Les moulins à farine (2), les fabriques d'amidon (3), de garancine (4), de poudre de lycopode (5), de fleur de soufre (6), de pyrophore de Homberg (7), etc., ont été le théâtre de déflagrations de ce genre.

Des phénomènes analogues ont été directement observés sur le pulvérin de charbon lui-même, par MM. Petitjean (8), Babilot (9), Veillon (10). On connaît encore, sous ce rapport, les procédés de puddlage au poussier de charbon de Crampton, et de Whelpley et Stores (11), ainsi que les projets de machines motrices à poussière de charbon (12).

Certains accidents de mine ont dû être rapportés à cette cause,

d'enc., 3e, V, 33; *Annales des travaux publics de Belgique*, XL; *Proceedings of the royal Society*, n° 168; 1884. n° 232). — Hall et Clark, *Bull. min.*, 2e, VII; *Transact. NEI*, XXV, 244; *Chesterfield and Derbyshire Institute of mining civil mechanical Engineers*, avril 1878. — Marreco et Morison, *Annales*, 7e, XV, 374; North of England Institute, XXVIII.

(1) *Annales*, 8e, I, 1.

(2) Berthelot, *Bulletin* de l'Association scientifique de France, n° 564, p. 310. — *Transact. NEI*, XXVI, 104. — Lawrence Smith, *Comptes rendus de l'Académie des sciences*, LXXXVII, 121. — *Journal de physique et de chimie*, mai 1878. — *Les Mondes*, 11 juillet 1878. — Morosso, *Annales de chimie*, IV, 173. — *Génie civil*, 1882, 282. — Bauhine et Macadam, *Bull. Soc. d'enc.*, 12 juillet 1878.

(3) *Journal de pharmacie*, 4e, X, 61.

(4) *CRM*, 1878, 245.

(5) Borgnis, *Traité complet de mécanique appliquée aux arts*, 197.

(6) Tissandier. Les poussières (*Bull. de l'Association scientifique de France*, n° 646, p. 397).

(7) *CRM*, 1879, janvier, 5.

(8) Burat. *Les houillères en* 1872, p. 128.

(9) *CRM*, 1879, 5.

(10) *CRM*, 1878, 246.

(11) *Annales*, 7e, VII, 176.

(12) Dumas (*Comptes rendus de l'Académie des sciences*, LXXXVII, 121). — *Journal of Franklin Institute*, 1871. — *Annual Report of the Chief of the United States Bureau of Steam Engines for* 1876. — *Engineering and Mining Journal*, XXI, 13.

d'une manière indubitable, car on a vu directement la poussière s'enflammer ([1]). Le grisou n'avait jamais été observé sur le même emplacement, et n'y a pas été revu dans la suite ; la flamme était rouge, et celle du grisou est bleue ; elle avait brûlé les ouvriers principalement dans la partie inférieure du corps, et carbonisé le pied seulement de fils à plomb employés pour donner un alignement ; tandis que la flamme du grisou passe par-dessus la tête, quand elle ne remplit pas toute la section de la galerie. Ce n'est, à la vérité, que dans des circonstances relativement rares, qu'un ensemble aussi concluant de preuves a permis d'affirmer l'absence du grisou ; mais la possibilité d'un coup de feu uniquement dû aux poussières ne s'en dégage pas moins avec certitude.

Il est également indubitable que les poussières viennent très fréquemment mêler leur action, dans une mesure variable, à celle du grisou, dans les explosions dues principalement à ce gaz. On en trouve la preuve dans les dépôts de coke friable, qui tapissent souvent les boisages, indiquant que les pulvérins ont subi une distillation et une agglomération.

L'action des poussières peut, d'après cela, être envisagée dans trois conditions bien différentes : d'abord lorsqu'elles sont seules, en l'absence complète de grisou ; en second lieu, quand elles se trouvent en présence d'une dose de ce gaz, incapable par elle-même de déterminer une explosion ; et, enfin, lorsqu'elles sont mélangées à une proportion de grisou directement explosible.

1191 — Dans le premier cas, certains auteurs ont nié que les poussières fussent capables de s'enflammer à elles seules, en l'absence absolue de grisou. Mais nous venons dire que le fait a, au contraire, été observé directement. Cette discordance des expériences s'explique d'ailleurs aujourd'hui très naturellement ; car il a été reconnu que certains pulvérins sont inflammables, tandis que d'autres ne le sont pas. Il faut, pour cela, que le combustible ren-

([1]) Des expériences sont exécutées, en ce moment (1884), par la Commission prussienne du grisou, sous la direction de M. Margraf, à la mine Kœnig (Saarbrücken). 200 déflagrations se sont déjà produites. La poussière de la mine Pluts (Westphalie) fait de même explosion, sans la présence du grisou (A. Gurlt, *Glückauf*, octobre 1884, n° 81).

ferme au moins 30 % de matières volatiles. Il est pourtant à noter que les mines de lignite, en général très poussiéreuses, et renfermant beaucoup de matières volatiles, n'ont été jusqu'ici le théâtre d'aucun grand accident de ce genre.

En l'absence de grisou, on obtient seulement une *langue de feu*, sans explosion proprement dite. La déflagration ne se propage qu'à une courte distance : 50 mètres au maximum, et elle est toujours d'une faible intensité. De plus, les poussières opposent une certaine résistance à l'inflammation, et les coups de mine débourrant à la sole des galeries paraissent à peu près le seul moyen efficace de leur communiquer le feu.

Les expériences de MM. Mallard et Lechatelier ont montré, en effet, qu'un certain volume de flamme est nécessaire pour provoquer l'inflammation. Les poussières les plus fines sont les plus inflammables; mais, dans la pratique, cette influence se trouve masquée par cette circonstance, que les grains les plus gros tendent à se déposer les premiers, et qu'après un certain parcours, c'est toujours à peu près le même calibre qui reste seul.

La vitesse du courant a, dans le phénomène, une part importante. Si les grains passent avec une trop grande rapidité à travers une flamme, ils n'ont pas le temps de s'y allumer.

La quantité de poussière est plus essentielle encore. Il faut qu'elle forme un nuage suffisamment épais, sans quoi la sphère de déflagration d'un grain n'est plus capable d'atteindre les autres. M. Galloway indique, à cet égard, la proportion d'un kilogramme par mètre cube d'air. D'ailleurs les poussières, une fois soulevées, se déposent avec une grande rapidité, et il ne reste plus, ainsi que nous venons de le dire, que les parties les plus ténues en suspension, ce qui, en diminuant la quantité, restreint progressivement les facilités d'inflammation.

Quant à la vitesse de propagation de la flamme, dans les mélanges d'air pur et de poussière, elle est excessivement faible. Avec le lycopode, elle paraît être d'un décimètre par seconde. Elle ne semble pas même atteindre un centimètre pour le charbon. La véritable propagation s'effectue par l'action mécanique qui accompagne le phénomène, beaucoup plus que par les effets de la con-

ductibilité, du rayonnement, et de la déflagration progressive proprement dite.

1192 — La seconde question consiste à savoir si une proportion de grisou, inexplosible par elle-même, peut cesser de l'être en raison de la présence de poussières. Dans les expériences de MM. Mallard et Lechatelier, faites avec le gaz de l'éclairage, les poussières non inflammables par elles-mêmes ont seules gardé cette incombustibilité en présence du gaz. Quant aux autres, la présence de l'hydrogène bicarboné semblait faciliter un peu leur inflammation, mais dans une faible mesure.

M. Abel, en opérant avec le grisou *quick* des mines de Garswood-Hall (à Brynw, Wigan), qui a la réputation d'être explosible au-dessous de la proportion ordinaire, dès la teneur de 3 à 4 centièmes, a reconnu, qu'en présence des poussières, et avec une vitesse de 5 mètres par seconde, une addition de 2 % de grisou pourrait suffire; proportion qui s'abaisse même à 1,5 % pour une vitesse de $0^m,50$ par seconde. M. Abel a, en même temps, reconnu ce fait curieux, que des poussières incombustibles, comme la chaux et la magnésie, pouvaient jouer un rôle d'excitateur, analogue à celui du charbon lui-même, et provoquer l'explosion, dès la proportion de 2,75 % de gaz.

1193 — Il reste à envisager, en troisième lieu, le rôle des poussières, dans une atmosphère assez grisouteuse pour être inflammable par elle-même. Leur intervention est, comme nous l'avons dit, incontestable dans les grands accidents de grisou. On en trouve la preuve dans les fumées abondantes qui s'échappent par les puits, et dans l'existence de croûtes de coke, atteignant, dans certains cas, 14 millimètres d'épaisseur.

Elles aggravent alors les conséquences de l'explosion, en contribuant à élever la température de la flamme, et, par conséquent, à augmenter la dilatation mécanique, au moment du choc [1]. En outre, elles développent également la proportion des produits asphyxiants

[1] M. Thénard a constaté que des eudiomètres qui résistaient à la détonation des gaz de l'eau, se trouvaient brisés par une addition de poussière de charbon.

qui continuent à exercer leurs ravages, lors même que l'action dynamique est éteinte. Divers faits semblent même établir que la distillation, la combustion, et l'agglomération du coke tendent à se continuer après l'explosion, pendant un délai plus ou moins marqué. Des expériences comparatives, portant sur les quantités de matière volatile renfermées dans le coke, et dans les poussières qui lui ont donné naissance, ont mis en évidence une perte importante, qui est d'un quart environ comme moyenne, mais assez variable [1].

1194 — *Mesures préventives.* — Les précautions à prendre contre les poussières se réduisent à un très petit nombre de préceptes, qui, malgré leur simplicité apparente, occasionnent malheureusement un assujettissement capable de provoquer beaucoup de résistance.

C'est d'abord le *balayage* du chantier. On lui a reproché, cependant, d'avoir précisément pour effet de remettre en suspension les poussières qui s'étaient déposées. Il est vrai que cet effet dure peu, car la précipitation de la plus grande partie est rapide, et le reste du nuage, ainsi qu'il a été expliqué, n'est plus ensuite susceptible d'inflammation. Il serait facile, d'ailleurs, de s'assujettir à laisser un intervalle de temps notable, entre cette opération et le tirage des coups de mine. Un balayage fondamental des voies de roulage, pratiqué tous les deux mois par exemple, supprimerait, sans grand embarras, une quantité considérable de pulvérin.

L'*arrosage* paralyse momentanément les propriétés des poussières. Il ne faut pas l'opérer par filets isolés, mais à l'aide d'une pomme d'arrosoir, et de récipients montés sur des trucs qui circulent sur la voie ferrée. On augmentera beaucoup l'efficacité de cette mesure, si l'on peut y joindre une pression d'air, qui permettra de nettoyer, à la lance, les parois et le plafond. Avec un aérage actif et desséchant, de grandes quantités d'eau deviendront nécessaires. Sous ce rapport, il ne faut pas perdre de vue qu'un temps sec et froid doit être considéré comme le plus dange-

[1] *Annales*, 7e, XV, 374, Marreco; VII, 180, Vital. — *Bull. min.*, 2e, IV, 207, Villiers; VI, 831, Chansselle. — Mathet. *Étude sur le grisou*, 80. — Burat. *Encyclopédie des lettres, sciences et arts*, 209.

reux de tous, car il sera le plus propre à faciliter l'inflammation des poussières, en les rendant plus sèches et plus mobiles.

Par la dessiccation, les poussiers reprennent leur état naturel après avoir été mouillés. Tout au plus, observe-t-on une légère consolidation, qui cède au moindre effort. On a proposé, pour en accroître l'importance, de mélanger à l'eau des matières agglutinantes, telles que l'argile, la chaux, le sel (1).

On a également essayé l'addition du chlorure de calcium, ou d'autres matières très hygroscopiques, en vue de résister à la dessiccation opérée par le courant, et de dispenser même de l'arrosage, dans un air suffisamment humide. Ces essais paraissent avoir peu réussi. Cependant, à Leycett, dans une mine très poudreuse (2), on a obtenu de bons résultats de l'emploi du sel marin. On a, par là, purifié l'atmosphère, incessamment chargée de pulvérin, et rendu le séjour de la mine plus salubre pour les ouvriers.

1195 — En même temps que l'on cherchera, par les moyens précédents, à supprimer, après coup, les poussières produites par l'exploitation, il sera évidemment rationnel de chercher à restreindre, autant que possible, cette production elle-même, en évitant les transbordements, les traînages par paniers, la descente du charbon dans les cheminées, en réduisant les vides inutiles. Dans certaines houillères anglaises, on a le soin d'élever, sur des colonnes, les estacades servant au roulage et au culbutage à l'orifice du puits, afin que les poussières soient enlevées par les vents, et qu'un air plus pur s'engouffre, au-dessous de ces planchers, dans le puits d'extraction, sans y entraîner une aussi forte proportion de pulvérin.

On cherchera de même à écarter les causes d'inflammation des poussières dont on n'aura pu éviter la production. On substituera des lanternes aux lampes à feu nu, dans les chantiers où l'abatage en masse soulève un nuage de poussière, parfois irrésistible pour la respiration elle-même, au point d'obliger les hommes à aller, de temps en temps, respirer un air plus pur dans les galeries.

Par-dessus tout, on apportera le plus grand soin à réglementer

(1) *Bull. du ministère des travaux publics*, avril 1882, 336.
(2) *Génie civil*, II, 427.

le tirage des mines, qui paraît avoir été jusqu'ici la cause la plus efficace des accidents de cet ordre [1]. On proscrira les coups de mine à la sole des galeries. S'ils deviennent indispensables, on les chargera faiblement. On interdira sévèrement le bourrage avec du menu charbon, et les doubles charges destinées à faire partir un raté. Enfin, l'on fera précéder l'allumage, d'un balayage sur 3 mètres au moins de longueur, avec un délai suffisant pour la précipitation des poussières. Les hommes se retireront ensuite à 50 mètres au moins, distance que le feu des poussières, en l'absence du grisou, n'a jamais franchie jusqu'ici.

§ 4

SAUVETAGE

1196 — *Mesures préalables.* — Un certain nombre de mesures peuvent être prises d'avance et à loisir, en vue d'améliorer, pour le moment d'un sinistre, les conditions dans lesquelles devra s'opérer le sauvetage.

En vue de rétablir autant que possible, après un coup de feu, les conditions normales de l'aérage, on a la ressource de disposer, à côté des portes importantes, une cloison très légère, suspendue au plafond autour d'une charnière perpendiculaire à l'axe de la galerie, et soutenue dans une position horizontale, par un piquet qui présente peu de stabilité. La porte ordinaire venant à être emportée par un coup de feu, il en sera évidemment de même de ce piquet. La cloison retombera dès lors par son poids, et, n'ayant plus à subir que des oscillations de moins en moins violentes, pourra finir par rester suspendue verticalement, en rétablissant la fermeture.

M. Verpilleux a introduit un système spécial de portes [2], destinées à diminuer l'importance des ravages du coup de grisou, en le

[1] *Annales*, 7e, VII, 195, Vital; 8e, I, 88, Mallard et Lechatelier. — *CRM*, 1877, septembre, 7, Devillaine. — Dr A. Gurlt. Le tirage à la poudre dans les mines à grisou, *Rev. univ. d. m. et u.*, 2e, IX, 446.

[2] *Annales*, 6e, XII, 563, Verpilleux. — *Bull. min.*, 1re, IX, 465. — *CRM*, 1876, juin, 31.

circonscrivant près du point où il a pris naissance, et l'empêchant de se propager dans de nouveaux quartiers. Deux battants massifs et très solidement établis, en bois ou en fer, sont disposés à une faible distance l'un de l'autre. Ils s'ouvrent en deux sens opposés; mais des ressorts, ou des contrepoids, les tiennent plaqués contre la paroi, tout en laissant une faible prise au courant d'air, afin de les solliciter à se fermer. Dans ces conditions, de quelque côté que provienne l'explosion, l'une de ces deux portes obéira, et s'appliquera sur son cadre, en interceptant le passage et arrêtant la propagation de l'action destructive. La condensation de la vapeur d'eau et le refroidissement des flammes provoquant une rétraction de l'atmosphère, cette porte se rouvrira, et la seconde, qui se trouvera sollicitée en sens contraire, viendra battre sur son cadre, en entravant une partie de la violence du choc en retour. Ces portes ont été, en effet, presque toujours arrachées de leurs gonds, faussées ou brisées. Même alors, elles ont quelquefois rempli leur office; mais, dans d'autres cas, elles ont laissé passer le feu.

On a proposé également des portes d'un genre tout différent([1]). Elles sont formées de toiles métalliques tendues sur un châssis, et restent ouvertes, en temps ordinaire, afin que le courant d'air puisse passer sans éprouver de résistance. On estime, en effet, que cet obstacle réduirait, sans cela, le débit de 40 °/₀. L'explosion les ferme, par le déplacement de la colonne d'air qui précède la flamme. Ces portes, n'opposant pas un obstacle absolu et étanche, comme celles du système Verpilleux, subiront un moindre effort, et courront de moindres chances de destruction. On a expérimenté deux ou trois toiles superposées, avec 800 mètres cubes de mélange explosif. Elles ont semblé arrêter efficacement l'incandescence; car des capsules pleines de poudre ou de fulmicoton, placées du côté opposé, n'ont pas été enflammées.

M. Clermont a encore proposé, dans le même but, un autre genre de portes de sûreté. L'objet qu'il se propose est de laisser passer d'abord, sans lui opposer d'obstacle, la bouffée irrésistible qui pré-

([1]) *Bull. min.*, 2ᵉ, VII, 191. — *CRM*, 1878, 187. — Mathet, Étude sur le grisou, 106.

cède le feu, et se trouve déplacée, comme une avant-garde, par la dilatation de la masse embrasée. La porte ne doit se plaquer qu'aux approches de cette dernière, pour lui barrer le passage. A cet effet, on dispose, à une distance suffisante en amont, une capsule qui saute dès l'arrivée de la flamme. Elle déclanche, par son explosion, un ressort, qui actionne une longue tringle, et, par son intermédiaire, la porte elle-même, établie dans les conditions qui ont été déjà expliquées ci-dessus (n° 1043). Cette idée est ingénieuse, mais on peut redouter bien des obstacles pour l'exécution.

On rencontre, dans certaines exploitations anglaises [1], des portes préparées de manière à obéir immédiatement, au moment où l'on rentre dans les travaux pour le sauvetage, et à prendre la place de celles qui ont été détruites. Elles consistent (fig. 704) en deux vantaux dissimulés dans l'épaisseur de la maçonnerie, pour ne pas donner prise au coup de feu. Des ressorts tendent à les en faire saillir, de manière qu'ils décrivent chacun un angle droit, en venant fermer une moitié de la largeur de la galerie. Mais un loquet les maintient en place. Il suffit donc de presser sur ce dernier, pour que la manœuvre s'accomplisse en un instant.

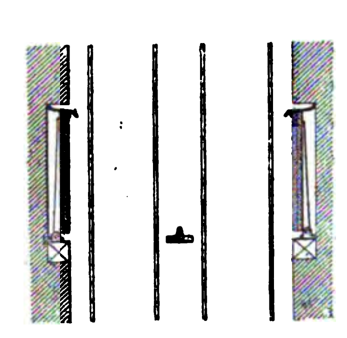


Fig. 704. Portes de sûreté.

1197 — Indépendamment de ce moyen de rétablir la direction du courant, il est nécessaire d'en pouvoir activer la production. Je rappellerai, à cet égard, les deux principes fort simples que nous avons déjà rencontrés, à savoir l'établissement d'un bassin de retenue sur le puits d'entrée (n° 1120), et de tuyaux de vapeur avec souffleur, à la base du puits de sortie (n° 1123).

On doit établir des échelles dans les puits, lors même que le service normal des descenderies s'effectue par les cages. Les échelles verticales, si pénibles à la vérité pour les conditions ordinaires

(1) *PA*, Angleterre, 113.

(n° 1256), risqueront moins d'être emportées par une explosion, que celles que l'on dispose, avec raison, dans une position inclinée.

On a recommandé d'établir en dépôt, près du pied du puits, tout ce qui peut être nécessaire au moment du sauvetage, et difficile à descendre; par exemple des brancards, des pharmacies portatives combinées en vue de pareilles circonstances([1]), etc.

On a conseillé également de désigner aux hommes les places de refuge jugées les plus avantageuses, de manière à pouvoir, sauf les contre-indications du moment même, diriger les opérations de sauvetage vers ces rendez-vous donnés à l'avance. On a été jusqu'à proposer d'y installer des dépôts de vivres, renouvelés périodiquement, et même des téléphones, pour pouvoir se mettre en rapport avec les ouvriers qui auraient trouvé un asile en ces points. Ces précautions seraient malheureusement impuissantes contre le danger de l'asphyxie, mais ses effets ne sont pas toujours inévitables, et, d'ailleurs, beaucoup d'autres genres d'accidents que les coups de feu, peuvent avoir pour effet d'isoler momentanément le personnel souterrain des secours de l'extérieur.

1198 — *Sauvetage.* — Lorsque le désastre est accompli, le premier soin à prendre est de rétablir l'aérage, en activant le ventilateur, s'il a été préservé, ou en employant les moyens qui ont été indiqués pour le cas contraire.

Les ingénieurs descendent avec ce qui reste de personnel. Au besoin, on fait appel à celui des exploitations voisines. Si la circulation des cages guidées est devenue impossible, on leur substitue une benne libre, qui se glissera plus facilement au milieu des guidonnages déviés.

On avance dans les travaux d'après les progrès de l'aérage, en déblayant successivement les galeries, de manière à les rendre praticables, et en rétablissant les portes et les barrages essentiels pour la ventilation. On peut se servir de lessive de soude, d'eau de chaux, ou de chaux caustique en poudre, pour absorber l'acide carbonique. On peut également pénétrer dans les milieux irres-

([1]) On trouvera le catalogue de ces pharmacies, dans le recueil des *pièces annexées* aux procès-verbaux des séances de la Commission du grisou (2e *fasc.*, 173).

pirables, au moyen d'appareils spéciaux dont nous nous occuperons bientôt (n° 1200).

Si le sens de l'aérage a été renversé par l'explosion, il y a lieu



Fig. 705. Transport des blessés.

d'apprécier, d'après ce que l'on connait de la situation des portes, et des points où ont dû probablement se réfugier les hommes, de la marche à suivre pour rentrer dans les travaux, et de l'opportunité

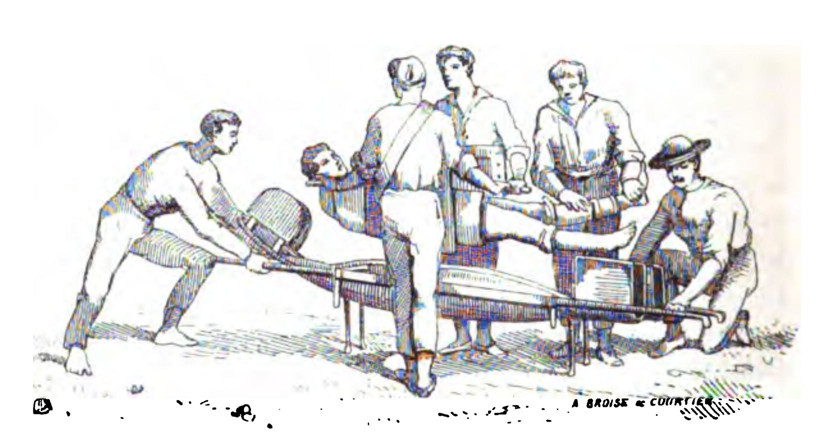


Fig. 706. Transport des blessés.

qu'il peut y avoir à insister dans le même sens pour la ventilation, si les moyens dont on dispose s'y prêtent, ou, au contraire, à lutter pour rétablir le courant dans sa direction première.

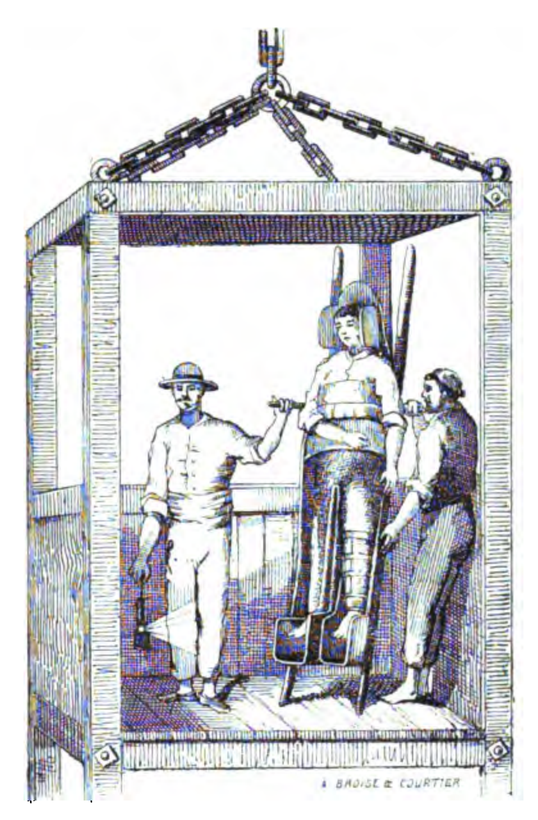


Fig. 707. Transport des blessés.

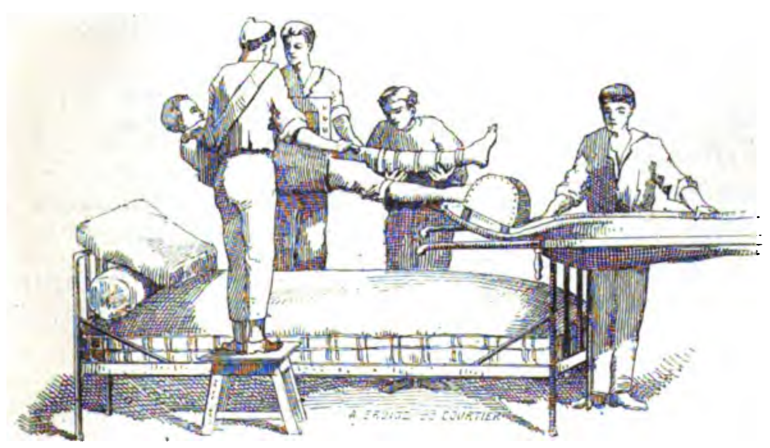


Fig. 708. Transport des blessés.

Rien n'est plus propre à exciter l'admiration que le courage, le dévouement et le mépris complet du danger, que montrent d'ordinaire les mineurs, dans ces circonstances critiques. Leur abnégation est entière, et l'on peut tout attendre d'eux pour essayer de porter, au milieu de cette dévastation, de dernières et bien faibles chances de salut.

1199 — Les blessés et les asphyxiés reçoivent les soins nécessaires. A cet égard, une instruction administrative du 17 février 1813, préparée par le docteur Salmade, indiquait aux exploitants les premières mesures à prendre. Ce document ne se trouvant plus en rapport avec les progrès de la science médicale, l'Académie de médecine, après avoir adressé un questionnaire aux médecins attachés aux diverses mines de France, a préparé une instruction plus étendue, concernant tous les genres d'accidents souterrains. M. le docteur Proust lui a présenté cette rédaction dans sa séance du 15 mars 1881 (1). Ce travail ne pouvant, pour conserver l'harmonie de ses proportions, accorder aux explosions de grisou que des développements limités, M. le docteur Regnard n'a pas cru faire, avec lui, double emploi, en publiant, à la demande de la Commission du grisou, un manuel détaillé de tout ce qui concerne les soins à donner aux victimes des coups de feu (2). Ces prescriptions médicales ne sauraient évidemment être analysées ici. Il sera nécessaire, pour tout exploitant, d'en posséder un ou plusieurs exemplaires sur chacun de ses puits.

Le transport des blessés se fait d'abord à bras (fig. 705), jusqu'au point le plus rapproché où puisse arriver le brancard-civière (3), que l'on glisse sous le blessé, enlevé par des bretelliers (fig. 706). Ce brancard est disposé de manière à pouvoir être placé verticalement, sans trop d'inconvénients pour la victime, pour le passage dans les puits, si leurs dimensions l'exigent (fig. 707). Le blessé arrive ainsi jusqu'à son lit d'hôpital. Des bretelliers l'enlèvent de nouveau

(1) *Annales*, 8e, III, partie administrative, 67.
(2) Premiers soins à donner aux ouvriers blessés à la suite des explosions de grisou. *Pièces annexées*, etc., 2e *fasc.*, p. 161 à 226.
(3) Brancards du docteur Riembaut, du docteur Vidal, du docteur Dujol.

(fig. 708), on retire le brancard, et le malade est déposé définitivement sur le lit.

Le transport des cadavres exige des précautions spéciales, lorsque la décomposition est déjà commencée ([1]). On doit toujours chasser l'air frais vers les corps, de manière que les ouvriers, qui cherchent à les atteindre, n'en aient pas les émanations. Les hommes affectés à ce transport sont munis de gants trempés dans une dissolution d'acide phénique. Les cadavres, préalablement poudrés de chlorure de chaux, et arrosés d'acide phénique, sont recouverts d'un linceul imbibé de cette même dissolution, et dans lequel on les roule, en évitant leur contact direct. Le linceul est attaché aux deux extrémités, et le corps est placé dans un cercueil préparé d'avance. Les ouvriers sont munis d'un masque de coton, imbibé d'eau phéniquée, et ne servant jamais deux fois.

§ 5

APPAREILS RESPIRATOIRES

1200 — Un grand nombre d'inventeurs ([2]), ont à diverses époques, imaginé des appareils destinés à permettre de pénétrer dans les milieux impropres à la respiration. Quelques-uns sont employés en France, mais on ne les rencontre presque jamais dans les mines anglaises ou allemandes.

La discussion de tous ces systèmes nous entraînerait beaucoup trop loin. Je me contenterai de décrire ici ceux qui sont le plus usités en France : l'appareil Rouquairol-Denayrouze ([3]) et le système

([1]) *CRM*, 1877, août, 5.

([2]) Brane (Serlo, *Leitfaden zur Bergbaukunde*, II, 384). — Brynaert. — Delaunaye (*Annales*, 1re, X). — Fleuss (*Pièces annexées*, 2e *fasc.*, 210). — Galibert (*Annales*, 6e, V, 131. — *Bull. min.*, 1re, XII, 183. — Guérard, *Hygiène publique*, in-8e, 1865). — Humboldt (Héron de Villefosse, *Atlas de la richesse minérale*, I, 136). — Kraft (Serlo, *loco citato*). — Léard (Exposition de 1878). — Mahler et Eschenbach (Exposition de Vienne). — Pilâtre des Rosiers (Macquart, *Journal des mines*, III, 146). — Roberts (Serlo, *loco citato*, II, 366). — Schaw. — Schultz (*Rev. univ. d. m. et u.*, 2e, I, 151). — Schwann (*ibidem*, 147). — Stenhouse (De Place. Note sur les conditions de la vie, etc. *Bull. min.*, 2e, II). — Tyndall (Haton de la Goupillière, *Annales*, 7e, XVIII, 393).

([3]) Denayrouze. Des Aérophores, Paris, 1872. — Moreau. Appareil Rouquayrol, in-8e,

Fayol [1], ainsi que celui qui a été créé récemment par M. le docteur Regnard, pour la Commission du grisou [2].

Appareil Rouquairol-Denayrouze. — L'aérophore Rouquairol-Denayrouze repose sur l'emploi de l'air comprimé. Un *ferme-bouche* (fig. 709) s'applique sur les lèvres, où il est maintenu au moyen de deux petites saillies en caoutchouc, que l'on serre entre les dents. Une *pincette* comprime les narines, et ferme absolument ces voies respiratoires. La respiration est alimentée par un *réservoir* d'une vingtaine de litres, que l'ouvrier porte sur le dos (fig. 710). On le construit en tôle d'acier, capable de résister à une pression de 30 atmosphères. Cette énorme tension est distribuée à la bouche du mineur par un *régulateur* (fig. 711), avec une pression à peine supérieure à celle de l'atmosphère.

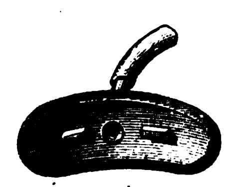
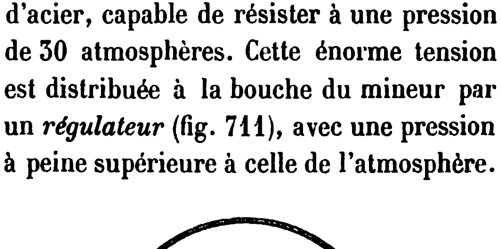


Fig. 709. Ferme-bouche.



Fig. 710.
Appareil Rouquairol-Denayrouze.



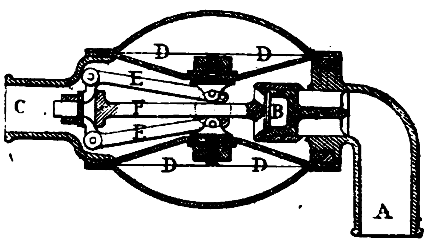


Fig. 711. Régulateur de pression.

L'air arrive du réservoir à travers le tube A, et pénètre, par la soupape B, dans la chambre du modérateur. Il se rend de là au ferme-bouche, placé du côté C. Le clapet B est sollicité, sur ses deux

1865. — *Bull. min.*, 2e, II, 139, 735. — *Comptes rendus de l'Académie des sciences*, LXXXI, 1362. — Habets (*Rev. univ. d. m. et u.*, 1re, XXVIII, 147 ; 2e, I, 143). — *Annales des travaux publics de Belgique*, XXXII, 203. — *Zeitschrift BHS*, XVI, 302.

(1) *Annales*, 7e, VII, 171. — *Bull. min.*, 2e, II, 735, De Place ; 1re, V, 627, Baure. — — *CRM*, 1875, décembre, 3. — *Pièces annexées*, etc., 1er *fasc.*, 45. — *Bulletin de l'Association Française pour l'avancement des sciences*, Congrès de Lyon, 1873. — *Rev. univ. d. m. et u.*, 2e, I, 146.

(2) *Pièces annexées*, 2e *fasc.*, 212.

faces, par les pressions antagonistes du réservoir et de la chambre. Leur différence se trouve contre-balancée par l'influence inverse des surfaces, à savoir : celle de la soupape B, du côté du réservoir, et, de l'autre côté, une superficie égale de la même soupape, à laquelle s'ajoute celle des diaphragmes D qui, refoulés par la tension ambiante de cette chambre, renvoient cet effort, au moyen des bielles E et de la tige F, pour tenir en respect le clapet B.

Dans ces conditions, la plus faible dépression suffit, dans l'intérieur de la chambre, pour en fermer l'accès, en refoulant l'air des réservoirs.

Lorsque, au contraire, cette tension tend à disparaître par l'acte de la respiration, la soupape cède, et laisse passer des bouffées d'air, qui entretiennent cette dépression.

Le fluide, ainsi raréfié, est aspiré par les poumons à travers un *anche* très léger, placé sur le *tube respiratoire* qui est adapté au ferme-bouche ; tandis qu'un second anche, qui s'ouvre en sens contraire, sert à rejeter, dans l'atmosphère, les produits de la respiration. Des *lunettes garnies* défendent, autant que possible, les yeux contre le picotement produit par la fumée.

1201 — *Appareil Fayol.* — L'emploi de l'air comprimé est évidemment rationnel, comme permettant d'accumuler, dans un même volume, une plus ample provision d'air respirable ; mais les appareils qu'il alimente sont lourds, et sujets à se déranger. On comprend combien, dans des circonstances critiques et troublées, la simplicité est désirable. Pour ce motif, M. Henri Fayol a rejeté le principe de la compression forcée dans ses appareils, qui se rattachent à deux types bien distincts : l'un fixe, l'autre portatif.



Fig. 712.
Appareil portatif Fayol.

Ce dernier (fig. 712) présente la forme d'une sorte de soufflet carré, qui pèse 8 kilogrammes, et peut renfermer 180 litres d'air. Il suffit, pour le

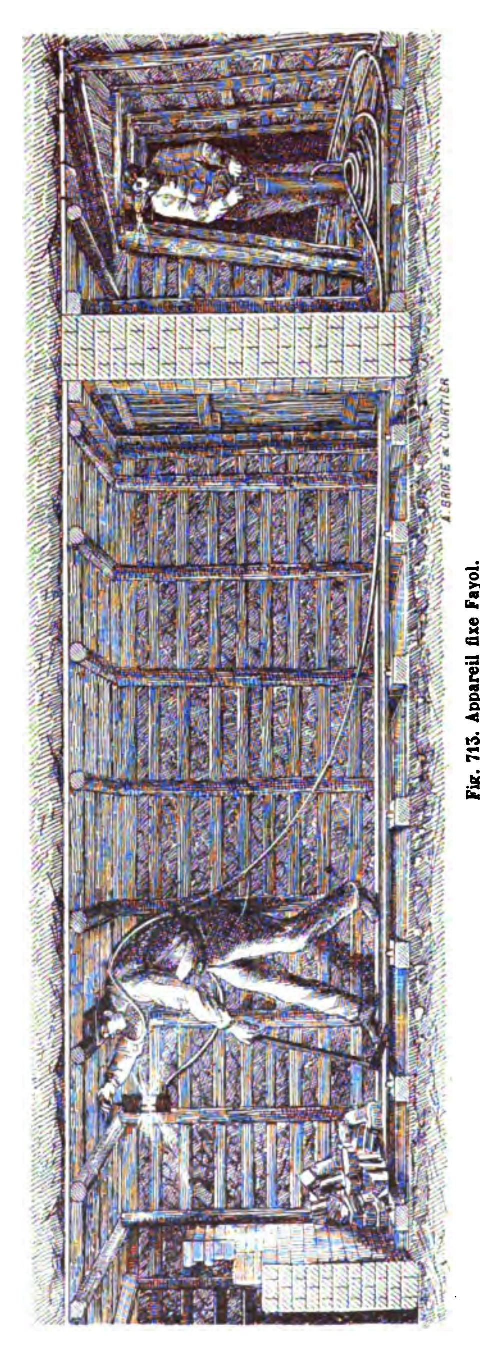


Fig. 713. Appareil fixe Fayol.

gonfler, d'enlever la bonde qui le ferme, et de soulever sa face supérieure. Le poids de celle-ci crée une légère dépression, qui vient en aide à la respiration de l'ouvrier, pour la manœuvre des soupapes. M. Fayol a, en outre, amélioré la construction de ces dernières, en leur communiquant une grande légèreté.

Cet appareil présente l'avantage de faire corps avec l'ouvrier, et de le laisser libre de se porter à une distance du point de départ qui n'est limitée que par la prudence et la durée de la provision d'air. En revanche, il gêne beaucoup les mouvements et la possibilité de se glisser au milieu des décombres. On a donc cherché, dans un autre dispositif, à dégager le mineur de cet assujettissement, en établissant une communication continue entre l'air pur et lui.

1202 — A cet effet, l'ouvrier est muni d'un simple tube de caoutchouc fixé à sa ceinture, et aboutissant au ferme-bouche,

avec les deux anches respiratoires. Il traîne derrière lui ce tube, en s'avançant au delà du barrage qui sépare, de l'atmosphère méphitique, la travée que l'on a pu déjà conquérir, et alimenter d'air frais (fig. 713). On lui envoie cet air à travers le tube, au moyen de la pompe Rouquairol, à laquelle M. Fayol a substitué un petit ventilateur plus simple.

Pour le cas où ce dernier viendrait à se déranger, on dispose un reniflard, sur la partie du tube qui se trouve dans l'atmosphère saine. Cette soupape, qui s'ouvre du dehors en dedans, est ordinairement fermée par la légère dépression intérieure. Mais si le ventilateur s'arrête, celle-ci disparaît, et se trouve remplacée par un certain degré de vide, que produit l'aspiration du mineur. Le clapet s'ouvre donc, et laisse pénétrer l'air, qui, quoique plus difficilement, continue à entretenir la respiration, au moins pour assurer le retour.

Ajoutons que l'on emploie également le simple tube ouvert, sans appareil d'alimentation. La simplification se trouve alors poussée aussi loin que possible, mais la respiration devient sensiblement plus pénible.

Lorsque plusieurs hommes doivent travailler ensemble, ils ont chacun leur tube. On trouve souvent plus simple de brancher tous ces conduits sur un même réservoir, qui est porté près de l'avancement, et que l'on alimente directement au moyen d'un tuyau unique, aboutissant au ventilateur. On ne doit pas alors perdre de vue, que la multiplication des tubes crée un réel danger. Ils peuvent s'enlacer, s'étrangler mutuellement, et couper ainsi les courants alimentaires.

Avec ces appareils, la durée du travail n'est plus déterminée *a priori*, comme avec le système à pression d'air. Elle n'est limitée que par la fatigue qu'éprouvent les hommes, dans ces conditions précaires. On arrive, avec leur secours, à établir un nouveau barrage à 20 ou 30 mètres, quelquefois même, à la rigueur, à 50 mètres du premier, et à s'en faire une nouvelle base d'opérations pour pousser en avant.

1203 — *Appareil Regnard.* — M. le docteur Regnard s'est proposé d'affranchir le sauveteur, dans une large mesure, des sujétions

de temps et de distance, que lui imposent les appareils précédents. D'après un principe qui avait été déjà mis en avant, mais avec moins de précision ([1]), il cherche à revivifier indéfiniment l'air respirable, qui a perdu ses propriétés en passant par les poumons. On agit, pour cela, chimiquement sur les produits de la respiration, au moyen de réactifs très simples, dont l'approvisionnement assure le fonctionnement pendant un temps assez notable.

L'appareil redevient portatif (fig. 714). Il comprend un sac A en

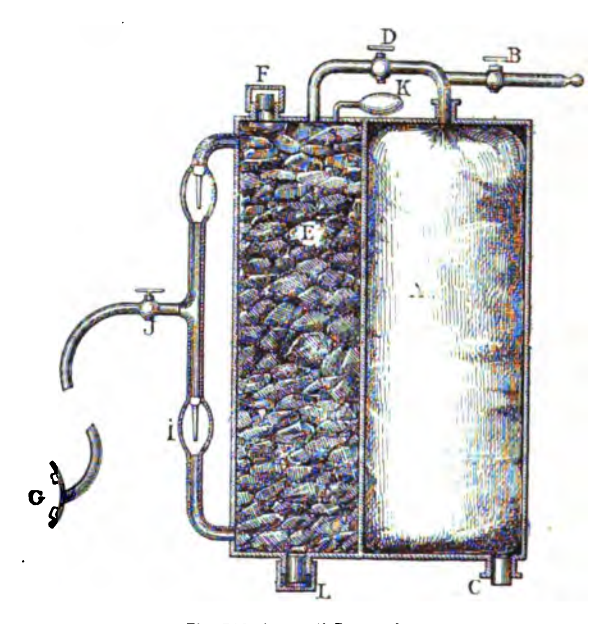


Fig. 714. Appareil Regnard.

caoutchouc, que l'on remplit d'oxygène à l'aide du robinet B. Un bouchon C, ordinairement fermé, que l'on ouvre au moment du sauvetage, permet la rentrée de l'air autour de l'outre, pendant que celle-ci se videra progressivement d'après l'écoulement de son oxygène. Ce dernier gaz se rend, par le robinet D, dans le compartiment E, au fur et à mesure de l'appel qui est exercé sur lui, comme nous le verrons. L'espace E est rempli de pierre ponce imbibée

([1]) Appareil Schultz, réaction de l'acide acétique sur le permanganate de potasse. — Appareil Schwann, emploi du peroxyde de baryum hydraté ou de l'oxygène comprimé.

d'une dissolution de potasse caustique, que l'on verse par la tubulure F, au moment de se servir de l'appareil. Ce compartiment se trouve en relation avec le ferme-bouche G, au moyen d'un double tube muni de deux soupapes H, I, et d'un robinet J. On ouvre ce dernier, au moment où commence la respiration.

L'air afflue par H au ferme-bouche, tandis que les gaz évacués en I se rendent à la base de la ponce alcaline. Ils doivent, par suite, traverser cette masse dans toute sa hauteur, pour revenir remplir le vide, que l'appel des poumons crée à la partie supérieure. Dans ce trajet, l'acide carbonique est nettement absorbé, et la vapeur d'eau fixée en grande partie. L'azote seul arrive en haut. Il ne saurait donc combler le vide créé par une nouvelle inspiration. Aussi cet appel fera-t-il arriver quelques bulles d'oxygène par le tube D, en quantité exactement équivalente à l'oxygène disparu, ce qui reconstitue l'air respirable dans les conditions normales. Pour tenir compte, cependant, des petites perturbations que ces complications peuvent apporter au volume du gaz intérieur, une poche K en caoutchouc s'enfle ou se dégonfle, de manière à maintenir tout l'ensemble à la pression atmosphérique.

1204 — La manière de se servir de l'appareil est la suivante. On envoie de l'oxygène, par la tubulure B, dans le réservoir A, en maintenant fermés C et D. On prépare, de même, une solution de potasse concentrée, que l'on renferme dans un flacon placé à proximité, afin de ne pas la laisser séjourner à l'avance dans l'intérieur, en corrodant le métal et saturant une partie de son propre pouvoir absorbant.

Au moment du sinistre, on ouvre la tubulure F, et l'on verse la liqueur alcaline. Puis on referme F, on ouvre C et D, et l'on charge l'appareil sur le dos du sauveteur. Celui-ci met en place son ferme-bouche, ouvre le robinet J, et commence à respirer.

Après la fin des opérations, on doit avoir soin de chasser tout ce qui reste de réactifs, afin de n'employer, dans une occasion ultérieure, que de l'oxygène et de la potasse, de la pureté desquels on soit absolument sûr, et que l'on s'occupera immédiatement de reconstituer. Pour effectuer cette expulsion, on ouvre, à la fois,

les tubulures F et L, puis on lave la pierre ponce à l'aide d'un courant d'eau.

Cet appareil se trouvant à la pression de l'atmosphère, on peut se contenter de le confectionner en fer-blanc, ce qui le rend à la fois léger et économique. Il permet de rester beaucoup plus longtemps dans les milieux méphitiques. L'auteur annonce une durée d'une heure et demie, tout en conseillant de se limiter beaucoup plus, par prudence.

1205 — *Appareil Bouchez.* — Je mentionnerai encore des appareils, pour lesquels on s'est proposé le but spécial de prémunir les ouvriers contre l'asphyxie, dans les mines à dégagements instantanés.

Avec le système Bouchez, le chapeau du mineur est garni d'une coiffe, ordinairement repliée, qu'il déploie en cas de danger, en la serrant autour de son cou pour empêcher l'accès de l'atmosphère irrespirable, après avoir saisi, entre ses lèvres, la tubulure d'une sorte de biberon. Celui-ci lui permet de respirer, aux dépens d'une provision d'oxygène renfermée dans une capacité, que l'on peut limiter à un litre, si l'on juge cette quantité suffisante pour regagner le puits.

M. Delaville-Leroux a proposé, en outre, de comprimer cet oxygène à 15 atmosphères, pour en augmenter la quantité, avec un régulateur de pression analogue à celui qui a été décrit ci-dessus (n° 1200).

Nous devons présenter, en terminant, une remarque générale, commune à tous les appareils de sauvetage. L'un des principaux écueils auxquels est sujet leur usage, naît de la rareté même de cet emploi. Au moment décisif, les organes ne fonctionnent plus, et les hommes manquent d'aptitude à s'en servir. On doit donc recommander, comme indispensable à cet égard, une surveillance périodique de ces engins par un agent directement responsable, contrôlé de temps en temps par l'ingénieur lui-même. En outre, des compagnies d'ouvriers spéciaux, que recommandent l'expérience et le sang-froid, doivent, à des intervalles réguliers, être exercées à ce genre de manœuvres.

1206 — *Éclairage dans les milieux irrespirables.* — L'atmosphère impropre à la respiration de l'homme l'est, par cela même,

à la combustion des lampes. De là, une question spéciale, qui se rattache naturellement à la précédente.

Dans l'appareil portatif de M. Fayol, un tube fait communiquer le réservoir d'air avec une lanterne, dans laquelle brûle une grosse bougie. Il en est de même pour le système portatif Rouquairol-Denayrouze, où la lampe est alimentée aux dépens de la provision d'air. Avec les appareils fixes, on peut, à l'aide de tubes dérivés, relier les lampes, suivant les cas, au tuyau que traîne derrière lui chaque homme, ou bien au réservoir unique sur lequel ils se branchent tous. Mais ces ressources manquent pour le tube respiratoire simplement ouvert à l'extrémité, sans ventilateur, ainsi qu'avec l'appareil Regnard.

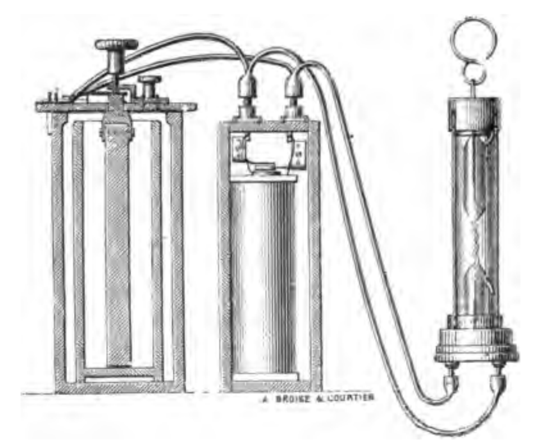


Fig. 715. Lampe électrique Dumas-Benoît.

On peut alors s'éclairer directement avec la lampe électrique Dumas-Benoît [1]. Cet organe se compose (fig. 715) d'une cartouchière fixée au corps, à l'aide d'une ceinture, et renfermant un élément de Bunsen et une bobine de Ruhmkorff. Des fils conducteurs les relient à un tube étincelant de Geisler, que l'on porte à la main pour s'éclairer, et dans l'intérieur duquel l'étincelle, en traversant ce milieu très raréfié, se transforme en une sorte de nappe lumineuse.

[1] Parran. Note sur la lampe électrique Dumas et Benoît (*Annales*, 6e, IV, 455). — Lampe photo-électrique Dumas (*Bull. min.*, 1re, IX, 5, 113, 118, 121). — Guérard. Hygiène publique, 1865.

CHAPITRE XLVIII

ACCIDENTS DIVERS

—

§ 1

INCENDIES

1207 — *Causes d'incendie.* — Les incendies souterrains peuvent être dus à la malveillance, ou à un simple accident, tel que la chute d'une lampe ou d'une flammèche sur la paille de l'écurie, un coup de mine débourré, un soufflard allumé par une explosion de grisou, les étincelles d'un foyer d'aérage ou d'une chaudière intérieure mal disposés.

Nous avons vu [1] que les mouvements généraux de la masse du terrain peuvent, dans certains cas, déterminer des frottements capables de mettre le feu à des houilles particulièrement inflammables [2].

Une des causes les plus fréquentes d'incendie réside dans le combustible lui-même, quand il est, par sa constitution, susceptible de s'échauffer spontanément. L'oxydation des pyrites en est souvent l'origine, mais non d'une manière exclusive ; car certaines houilles exemptes de pyrites sont également sujettes à l'incendie [3]. Les dissociations de divers carbures, qui donnent naissance à du grisou, peuvent également y avoir une part [4]. Le contact de l'air est, pour cela, nécessaire. Aussi n'est-ce que parmi les menus, et dans les char-

[1] Tome I, p. 484.
[2] *CRM*, 1882, 69, Durand.
[3] Durand. Note sur les incendies des houillères (*Bull. min.*, 2e, XII, 43).
[4] Pattinson (*Transact. NEI*, XXV, 118).

bons ou les schistes charbonneux qui ont joué sur des remblais, que ces faits se produisent, spécialement avec les houilles à longue flamme. On admet aussi que la présence de l'oxygène dans la masse peut être capable d'activer l'inflammation. Certains combustibles en renferment jusqu'à 17 °/₀ (1). On sait également que les poussières fines déterminent une occlusion des gaz, qui exalte l'action de l'oxygène. La houille peut en absorber jusqu'à cent fois son volume (2).

1208 — *Effets des incendies.* — Quelques incendies souterrains ont une durée séculaire. On voyait encore, en 1861, à Planitz (Saxe), un feu qu'Agricola signalait déjà, au seizième siècle, comme durant depuis un temps immémorial. Dans d'autres cas, au contraire, une durée éphémère s'accompagne d'une extraordinaire activité. A la mine de Johnston, près Paisley, une gerbe de feu, présentant le diamètre du puits, s'élevait à une vingtaine de mètres de hauteur. Certains incendies à ciel ouvert prennent un développement considérable. Le *volcan* d'Aubin couvre environ 700 mètres carrés.

Quand le feu est intérieur, ses effets se traduisent, à la surface, par la fonte immédiate de la neige au moment de sa chute, une végétation plus active, parfois une flore caractéristique des pays chauds. Le terrain lui-même arrive à présenter les caractères du métamorphisme. L'argile plastique se change en une sorte de porcelaine. Le retrait la divise en prismes hexagonaux. Divers cristaux se forment dans les fissures de la roche. Des sources minérales s'en échappent, et quelques-unes ont acquis une certaine notoriété dans la thérapeutique. Des émanations gazeuses, de nature très complexe (3), se font jour de divers côtés. A l'intérieur, une odeur *sui generis*, appelée par les houilleurs le *goût fin*, avertit l'exploitant qu'un incendie se prépare.

Le feu se développe, dans certains cas, avec une impétuosité qui empêche les secours d'être efficaces, et entraîne la perte d'une

(1) Blackwell (*Transact. NEI*, X, 168).
(2) H. Fayol (*Bull. min.*, 2ᵉ, VIII, 487).
(3) Ils ont été étudiés avec détail par M. Mayenson (*Comptes rendus de l'Académie des sciences*, LXXXVI, 491).

partie du personnel. L'incendie des cadres du puits de Hauenstein ([1]) a déterminé l'asphyxie de la totalité des ouvriers. L'embrasement de massifs considérables de boisages, au Comstock, a occasionné, en 1873, la mort de plus de 50 hommes.

1209 — *Mesures préventives.* — Il faut, avant tout, dans les gîtes susceptibles de s'échauffer, s'attacher à enlever complètement le charbon, les menus, et même les schistes inflammables du toit, du mur, ou des nerfs. La méthode d'exploitation doit être instituée de manière à fatiguer le combustible aussi peu que possible, et pendant le minimum de durée ([2]). La méthode verticale forme la dernière expression de cet ordre de préoccupations ([3]). Dans la méthode horizontale, si l'on passe sous le remblai en suivant l'ordre descendant ([4]), la terre grasse formera un excellent rempart contre les feux supérieurs. Avec l'ordre ascendant, en montant sur le remblai, on doit préférer, au contraire, les matières qui donnent le moins de tassement, afin de ne pas fatiguer les tranches supérieures, en les prédisposant à l'incendie. Si l'on écarte l'emploi du remblai, et que l'on procède par foudroyage du toit en tranches inclinées, il est bon de rentrer le plus tôt possible sous les éboulements, afin de les rafraîchir par une nouvelle tombée, et d'éviter d'avoir le feu sur la tête ([5]). Lorsqu'un quartier s'échauffe, on le recoupe par quelques larges voies d'air, pour en modifier la température. Il faut surtout éviter, autant que possible, l'accès de l'air dans les vieux travaux (n° 1057), de peur d'y favoriser la fermentation.

1210 — Des mesures spéciales seront également prises au jour, sur les haldes. On n'y doit entasser le charbon que sous une épaisseur modérée. A Commentry, on n'a jamais d'incendies pour des dépôts de menu moindres que 2 mètres. Le feu s'y met invariablement, si la hauteur dépasse 4 mètres ([6]).

([1]) Tome I, p. 378.
([2]) Tome I, p. 523.
([3]) Tome I, p. 539.
([4]) Tome I, p. 476.
([5]) Tome I, p. 431.
([6]) Fayol (*Bull. min.*, 2e, VIII). — Clérault (*Annales*, 7e, X, 626, Bulletin).

On ménage, dans la masse, des chemins d'air, au moyen de caniveaux construits avec du gros, ou en y insérant des lignes de fascines. Ces dernières présentent l'inconvénient de s'oblitérer en certains points, ce qui arrête la vitesse rafraîchissante, sans supprimer l'accès de l'air oxydant. Nous avons vu (n° 772) que l'on a employé, pour soutenir les estacades de Trieukaisin, des colonnes creuses, percées de trous, à travers lesquels on force de l'air comprimé, pour rafraichir les entassements de combustible.

M. Poesch [1] fait de même circuler, dans des caniveaux couverts en planches imparfaitement jointes, la vapeur d'échappement des machines. Elle éloigne l'air oxydant, et maintient un certain degré d'humidité, qui empêche le charbon de s'effriter et de s'échauffer.

On sait combien les soutes des navires à vapeur, ou des bateaux charbonniers, sont exposées à l'échauffement et à l'incendie [2]. Mais les précautions à employer, à cet égard, excèdent les limites de notre cadre.

1211 — *Lutte contre le feu.* — Quand l'incendie est déclaré [3], on lutte directement contre lui par la méthode de l'*arrachage*. On emprunte le secours de lances d'eau sous pression, qu'il est toujours facile de se procurer dans la profondeur. Ce travail est l'un des plus pénibles que puisse présenter l'art des mines; mais il donne une chance d'arriver à détruire les foyers, au lieu de se borner à les circonscrire. On avance peu à peu, en procédant avec des barrages successifs, et, autant que possible, par recoupes étroites, plus faciles à barrer. Si le feu gagne en hauteur, on l'attaque de préférence par-dessous.

Ces travaux réclament un bon aérage pour l'hygiène des hommes, dont les fumées rendent la situation intenable. On gagnera souvent sur la durée totale de l'opération, en commençant par employer un certain temps à améliorer les conditions locales de la ventilation; car le travail des ouvriers s'en ressentira ensuite d'une manière

(1) *Œsterreichische Zeitschrift f. B. u. H.*, 1884, nos 22 et 23. — *Génie civil*, V, 181.
(2) *Bull. min.*, 2e, VIII, 286. — *CRM*, 1879, 99, 177. — *Transact. NEI*, XXV, 131.
(3) On consultera avec fruit, sur cette matière, la notice de M. Nesterowski (*Bull. min.*, 2e, VII, 839), et surtout l'excellent mémoire de M. H. Fayol (*Bull. min.*, 2e, VIII).

marquée. Il ne faut pas, d'ailleurs, envoyer un excès d'air inutile, qui aurait pour effet d'activer l'incendie. Pour se débarrasser partiellement des fumées, on a la ressource de donner des coups de sonde à partir de la surface, en y réglementant l'écoulement des gaz à l'aide de registres, de peur de surexciter la combustion. M. H. Fayol a également utilisé de semblables coups de sonde, pour procéder à l'*embouage* des parties embrasées, en y déversant des eaux boueuses. L'eau éteint le feu, et l'argile bouche les fissures.

1212 — Si le feu prend beaucoup de développement, et marche plus vite que l'arrachage ([1]), on n'a d'autre ressource que de chercher à étouffer l'incendie. Il faut, pour cela, cerner le foyer le plus près possible, par des barrages bien étanches en moellons, ou mieux en briques, en cherchant minutieusement, et aveuglant les fissures. Nous avons vu que, pour faciliter cette opération, il peut être utile d'avoir un ventilateur réversible, afin de renverser à volonté le courant d'air (n° 1068). On se sert également des appareils respiratoires (n° 1200), pour se porter en avant, au milieu des fumées. On peut même dire que c'est là leur application la plus efficace. Les hommes agissent, dans ce cas, avec plus de sang-froid et de méthode, qu'au milieu du trouble d'un sauvetage, et de l'inconnu qui plane alors sur la situation. Je rappellerai encore, à cette occasion, l'avantage que l'on trouve à disposer, dans l'aménagement général, des maîtresses-voies au rocher ([2]), ou dans une couche distincte, et moins inflammable.

Les barrages sont ordinairement des murs épais. On se défend pourtant du feu pendant un temps assez long, au besoin, à l'aide de remparts provisoires; sauf à établir, en arrière, des défenses plus durables, ou de simples portes que l'on sera prêt à étancher, si le premier barrage vient à crever. Celui-ci est alors formé de planches de peuplier, clouées horizontalement sur des montants, et recouvertes d'un lut argileux. On soulage ces ouvrages, en y ménageant des tampons mobiles, de manière à injecter de l'eau par ces

([1]) Syroczinski (*Rev. univ. d. m. et u.*, 1re, XXXIX, 375).
([2]) Tome I, p. 531.

trous, quand la paroi devient chaude à la main. La nature du toit apporte, suivant les cas, une gène ou un secours notable. Un toit casuel tamise l'air en se tassant. Un toit friable arrive mieux à l'étanchéité.

La chaleur des feux peut faire distiller la houille dans le voisinage, et provoquer des dégagements de gaz combustible, là où le grisou ne se montre pas habituellement. Dans ce cas, il est nécessaire de s'astreindre à ne visiter les barrages qu'avec des lampes de sûreté. De graves accidents ont été dus à l'oubli de cette précaution (1).

Lorsque l'on doit fermer un puits, pour circonscrire un incendie, on a soin de ménager, à travers la plate-cuve, un siphon pour éviter l'accumulation des eaux. Quand elles atteignent un niveau suffisant pour noyer la partie supérieure du siphon, celui-ci, se trouvant amorcé, dégorge d'un seul coup, au-dessous du diaphragme, tout ce qui se trouve au-dessus de son propre orifice.

1213 — Lorsque la lutte devient trop difficile, pour maîtriser un incendie qui gagne malgré tous les efforts, on peut encore tenter de faire la part du feu, en déhouillant, à une distance suffisante, une tranche horizontale, ou une masse verticale, suivant la méthode d'exploitation employée, et les remplaçant par un remblai argileux et étanche.

Dans la mine de lignites de Trifail (Styrie), on exploite par tranches horizontales et par foudroyage, attendu que l'on ne dispose que d'un remblai insuffisant. Mais, pour se garer des schistes du toit, qui sont inflammables, et se séparer du feu, s'il vient à y prendre naissance, on commence par accumuler, près du toit, tout le remblai dont on dispose, après quoi le reste de la tranche est pris en laissant tomber le plafond.

1214 — *Extinction en grand.* — Quand l'ingénieur se voit vaincu dans la lutte qu'il a engagée contre les progrès du feu, il ne lui reste plus qu'à abandonner la mine, pour procéder à l'extinction

(1) Fayol (*Bull. min.*, 2e, VIII, 183).

en grand de l'incendie. Cette opération peut être tentée de diverses manières.

La première méthode est celle du calfeutrage complet. On l'a employée en 1874, à la mine de Wynnstay (pays de Galles). Après avoir bouché tous les puits, on attendit le coup de grisou qui devait fatalement se produire, lorsque, par son dégagement progressif, le gaz aurait formé, avec l'oxygène enfermé dans les travaux, la proportion explosible. Il eut lieu, en effet, au bout de 72 heures, et déboucha tous les puits. Mais on put les refermer, sans avoir dorénavant de nouvelles explosions à redouter, en l'absence d'oxygène. Au bout de quatre mois, on rentra dans la mine, en remplaçant les lampes par un jeu de réflecteurs, et employant une série d'artifices remarquables, dont la description nous entraînerait trop loin [1].

1215 — Le second moyen est l'emploi de l'acide carbonique. On y a eu recours, pour cette même mine de Wynnstay, dans laquelle on a lancé environ 6000 mètres cubes de ce gaz, en vue d'étouffer la combustion. On s'est servi du même procédé à l'Agrappe (couchant de Mons) en 1844, à Astley (Écosse) en 1849, à Blackbroock près Liverpool, à Westminster près de Brynle, à Clarkmannan en 1851 [2].

On obtient ces dégagements d'acide carbonique par l'action de l'acide chlorhydrique sur le calcaire, ou, plus simplement, en allumant des foyers de coke.

1216 — La vapeur d'eau a été employée également. Elle agit, d'une part, pour abaisser la température, puisque la sienne ne peut dépasser 100 degrés, point fort inférieur à l'état thermique du charbon en ignition; et, en second lieu, pour former un milieu impropre à la combustion. Cette méthode a été employée, pendant 70 heures, à Saint-Mathieu (Loire), en 1857, et, durant près d'un an, dans les mines d'anthracite de la Wilkesbare [3].

[1] *Bull. min.*, 2e, IV, 657, Gonthier. — *CRM*, 1875, décembre, 4. — *Iron and Steel Institute*, 5 mai 1875.

[2] Glover (*Transact. NEI*, XXV, 122).

[3] *Annales*, 7e, VII, 226. — *Les Mondes*, XLVII, 310. — *Iron*, etc., 16 janvier 1875.

1217 — Enfin un moyen radical consiste à noyer la mine, si l'affluence des eaux est suffisante, sauf à les épuiser ultérieurement. C'est ce qui a été fait dans la troisième couche du bassin de la Loire.

D'autres fois, on a détourné, tout exprès, des cours d'eau, pour les faire entrer dans la mine : A Catercroft, près de Bolton, on a engagé dans les travaux la rivière Douglas ; à Boubier (Charleroi), les eaux de la Sambre ; à Idria (Carniole), la rivière Idrickza [1] ; dans la mine d'anthracite de Lykem Valley, la rivière Bear-Cruck ; dans la mine de lignite de Castelnuovo (province d'Arezzo), le torrent Biccheraio, en 1880. Les chantiers de Commentry ont été inondés en 1819, 1840, 1844, 1853. Ceux d'Almaden furent noyés en 1758, pour mettre fin à un incendie qui avait duré deux ans et demi.

La question n'est, du reste, pas toujours résolue par le seul fait de l'immersion. Il est arrivé, en effet, dans mainte occasion, qu'après avoir retiré les eaux, on a vu l'incendie se ranimer de lui-même. Cette circonstance s'est présentée notamment à la Malafolie (Firminy), après dix-sept ans de séjour des eaux, dans une mine de la troisième couche de la Loire, que l'on n'a pu exploiter que par une méthode descendante, en baissant progressivement le plan d'eau, au fur et à mesure du déhouillement ; dans les lignites de Castelnuovo, où l'on a dû, finalement, se mettre à ciel ouvert.

§ 2

ÉBOULEMENTS

1218 — *Éboulement en grand.* — Le danger de l'éboulement se présente tout naturellement à la pensée, lorsqu'il s'agit de pénétrer dans l'intérieur de la terre. Nous reconnaîtrons en effet (n° 1231) que c'est à lui que doit être reportée la plus grande part dans la mortalité occasionnée par les accidents dont les mines sont le théâtre. On peut à cet égard distinguer deux degrés de gravité,

[1] Héron de Villefosse. *Richesse minérale*, 331.

à savoir : l'éboulement circonscrit d'un point en particulier, ou l'effondrement total d'une mine.

L'histoire a, en effet, sous ce rapport, enregistré le souvenir de mémorables catastrophes. La mine de Fahlun (Suède) est pratiquée dans une masse couchée de pyrite cuivreuse, insérée dans le micaschiste. En 1687, tous les travaux s'éboulèrent à la fois. On retrouve encore aujourd'hui, comme traces de ce désastre, deux abîmes, en forme d'entonnoirs, réunis dans une vaste excavation qui présente environ 360 mètres de longueur, sur 120 de largeur, et 60 de profondeur. Depuis cet événement, on a cherché à reprendre une partie des anciens piliers ainsi bouleversés, en pratiquant des chambres d'éboulement [1], au milieu de ce chaos; en outre, une exploitation régulière s'est rétablie au-dessous. En 1876, un nouvel éboulement s'y est produit, dans la partie profonde.

La mine d'Altenberg (Saxe), exploite une masse analogue à un elvan, entièrement imprégnée d'étain oxydé. Le plus grand désordre présidait à son aménagement, et 21 compagnies distinctes creusaient, chacune de son côté, sans entente commune, lorsque, le 24 janvier 1620, tout le monde étant sorti, la mine entière s'écroula sur près d'un kilomètre carré, et jusqu'à la profondeur de 340 mètres, laissant un abime, encore visible, d'environ 130 mètres de profondeur. On a, depuis cette époque, glané, comme à Fahlun, dans la partie disloquée, au moyen de chambres d'éboulement.

On peut encore citer d'autres exemples de semblables cataclysmes. En 1740, la mine de Stahlberg (pays de Siegen), s'est entièrement effondrée. Le Rammelsberg (Harz) a été, dans le quatorzième siècle, le théâtre d'un écrasement général, à la suite duquel la mine est restée fermée pendant un siècle. Un affaissement de 60 mètres s'est produit dans l'exploitation de Fleckgruvan (Norberg, Suède). La mine de mercure d'Idria (Carniole) a perdu, par l'éboulement, en 1552, un étage qui a conservé le nom de Todtenteufe (étage des morts), en engloutissant 50 piqueurs. La mine de fer de Nagot (Rancié, Ariège) s'est écroulée dans le quatorzième siècle, en ensevelissant tout le personnel. Elle a été abandonnée à la suite de

(1) Tome I, p. 439.

cette catastrophe. Les mines de la Crangne (Rancié), en 1819, de Geyer (Saxe), de Schlackenwald (Bohême), la mine de mercure de Huencavelica (Amérique), ont subi de grands effondrements. La mine de soufre de Lercara (Sicile) a enseveli 37 mineurs en 1860, et 19 en 1871.

Le plus récent des désastres qui présentent un caractère de généralité est celui de la mine de Varangéville (Meurthe-et-Moselle) (¹). On y avait introduit les méthodes de havage du sel gemme par l'eau (²). Bien que le liquide fût recueilli avec soin, des infiltrations avaient fini par délayer les marnes du mur. Depuis un certain temps, quel

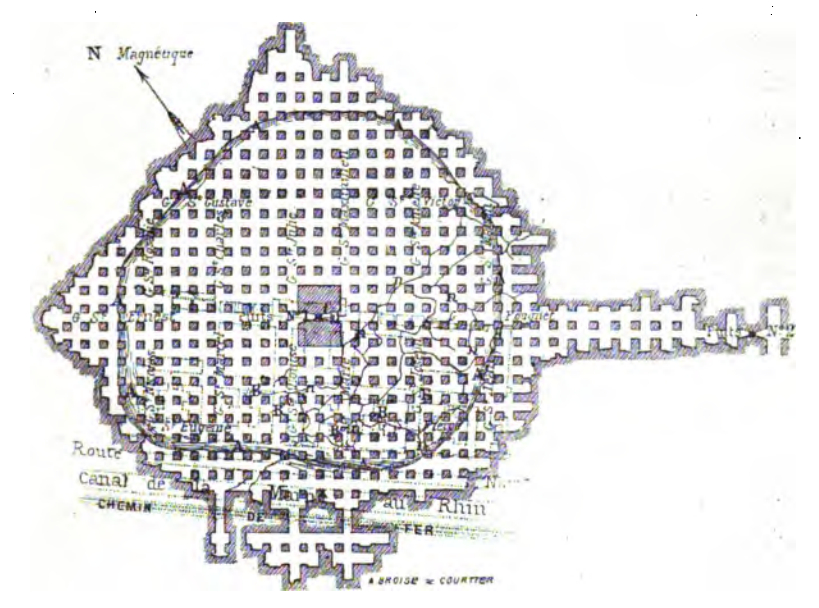


Fig. 716. Éboulement de Varangéville.

ques signes menaçants s'étaient manifestés. La hauteur des galeries avait diminué sur certains points, mais on attribuait cet effet au foisonnement des marnes. Des crevasses s'étaient produites de divers côtés. Enfin, le 31 octobre 1873, les piliers massifs s'enfoncèrent tous à la fois, et l'on vit, dans l'espace d'une demi-minute, s'affaisser, sur une hauteur de 3 mètres, une étendue d'environ

(¹) *Annales*, 7ᵉ, IV, 613.
(²) Tome I, p. 166.

350 mètres sur 300 (fig. 716) (1). Les marnes délayées refluèrent dans le puits, sur une hauteur de 20 mètres, et l'air ainsi comprimé y fit explosion, en lançant la cage à travers la toiture. C'était jour de paye, et peu d'hommes se trouvaient dans l'intérieur. Aucun ne fut perdu ; néanmoins il y eut 17 ouvriers blessés, mais, pour la plupart, à l'extérieur.

1219 — On a cité des exemples de tremblements de terre ressentis dans les mines du nouveau monde. M. de la Torre (2) a décrit celui qu'il a éprouvé, en novembre 1852, dans une mine de cuivre de Cuba. Au milieu d'un bruit formidable, la terre ondulait, lançant les hommes d'une paroi à l'autre des galeries, faisant craquer les bois, éteignant les feux, redoublant l'infiltration des eaux. Le phénomène dura au moins quatre minutes.

M. l'inspecteur général des mines de Chancourtois (3) a émis l'idée que des mouvements séismiques de l'écorce du globe, infiniment moins importants que les précédents, pouvaient n'être pas étrangers aux séries d'accidents de grisou, que l'on voit quelquefois se succéder, à des intervalles rapprochés, dans des localités assez distantes les unes des autres (page 277, note 2).

1220 — *Sauvetage.* — Mais la véritable influence des effets de l'éboulement sur la mortalité souterraine provient beaucoup moins de ces événements, essentiellement rares, que des accidents locaux trop fréquents, dans lesquels un ou plusieurs hommes peuvent se trouver engagés (4).

Les moyens de préservation, à cet égard, se réduisent à la bonne entente de la méthode d'exploitation, et aux soins que l'on doit apporter dans les soutènements (5). Il convient de fournir, à dis-

(1) Les lettres A désignent des crevasses béantes, un peu en deçà de l'aplomb de l'excavation souterraine ; B un exhaussement en dos d'âne ; *n* des veines d'argile qui croisent la stratification.

(2) Zurcher et Margollé. *Volcans et tremblements de terre*, 232.

(3) *Comptes rendus de l'Académie des sciences*, XCVI, 1319.

(4) De Saint-Léger. *Sauvetage de deux ouvriers engloutis par l'éboulement d'une marnière* (*Annales*, 4e, XVII, 173).

(5) Note sur un éboulement (*Annales*, 6e, XIX, 193).

crétion, les bois au piqueur et de stimuler, sur ce point, son indifférence, qui le porte à employer de préférence son temps à des travaux plus directement rémunérés. On va même quelquefois jusqu'à lui imposer des distances de boisage réglementaires et indépendantes de son appréciation personnelle. Il doit être également interdit, sous des peines sévères, de dormir à la taille; car alors les signes précurseurs de la chute du toit passent inaperçus.

1221 — Quand un homme est pris dans l'éboulement, on cherche, de préférence, à parvenir au-dessus de lui, en se boisant dans le solide, et pratiquant un grillage au-dessus de la partie disloquée, de manière à pouvoir la vider. Si l'on attaque, au contraire, les éboulis par dessous, sans protection, on risque de les voir couler consécutivement, comme dans une chambre d'éboulement [1]. Cependant il est inutile d'avertir qu'il peut y avoir, sous ce rapport, des contre-indications.

On a quelquefois réussi à prolonger la vie du prisonnier, pendant le temps nécessaire au sauvetage, en lui faisant passer des liquides nutritifs, au moyen de tubes que l'on trouvait moyen de faire parvenir jusqu'à lui. On ne doit, à cet égard, jamais se décourager. L'exemple le plus mémorable, sous ce rapport, est celui du puisatier Giraud, qui a résisté pendant trente jours, et a été retiré encore vivant, bien qu'il soit mort ultérieurement des suites d'une pareille épreuve. Le puisatier Prévost, enseveli à une profondeur de 25 mètres, a pu être sauvé au bout de vingt jours.

En 1878, le puits Sainte-Eugénie (Montceau-les-Mines) s'éboula partiellement [2], et les schistes lisses encaissants, glissant sur leur pendage de 45 degrés, vinrent l'encombrer sur une centaine de mètres de hauteur, pêle-mêle avec les débris de la maçonnerie et du guidage. Pour pouvoir traverser ce chaos, on commença par achever de remplir le vide du puits jusqu'à la partie solide, à l'aide de cendres et de crasses de fourneaux; puis l'on reprit le fonçage à travers cette masse, en soutenant, à l'aide de tirants, la partie supérieure du muraillement. Pour s'enfoncer, on pratiquait un fossé circulaire,

(1) Tome I, p. 438.
(2) Burat, *Cours d'exploitation des mines*, 149.

suffisant pour y insérer un cercle de fer, formé de quatre quadrants à talons réunis ensemble. Ces cercles étaient colletés au ferme contre la roche, et agraffés aux précédents. De l'un à l'autre, un garnissage en planches, en forme de tonne, maintenait le terrain. Lorsque l'on parvint au solide, on y posa un cadre colleté et encastré, sur lequel on éleva un cuvelage en maçonnerie, à l'intérieur du revêtement précédent, qui fut noyé dans une masse de béton.

§ 3

COUPS D'EAU

1222 — *Invasion des eaux.* — L'invasion subite des eaux constitue un danger redoutable, qui peut occasionner la perte d'une mine entière. L'histoire, ou la tradition, ont conservé le souvenir d'accidents de ce genre, accomplis dans des circonstances dramatiques.

Dans un coup d'eau du bassin de Liège, en 1812, 19 personnes furent noyées, et 74 autres, parmi lesquelles 15 enfants, furent sauvées au bout de cinq jours.

Un procès-verbal fort curieux, du 1er août 1664, dressé avec tous les caractères de l'authenticité, relate un coup d'eau du charbonnage de Crèvecœur (Hainaut), dans lequel cinq ouvriers restèrent emprisonnés pendant vingt-quatre jours et six heures ([1]).

A Beaubrun (Saint-Étienne), on avait conservé vaguement le souvenir du *quartier des noyés*, dont on ne connaissait plus la situation exacte, mais où, d'après la tradition, des hommes avaient été pris, en perçant aux eaux dans des travaux plus anciens encore. On l'a, en effet, depuis lors, traversé dans un fonçage, et l'on y a retrouvé des squelettes d'hommes, et ceux de 17 mulets avec leurs harnais.

Les méthodes de foudroyage préparent souvent l'invasion des eaux. Le 10 février 1879, la mine de lignite de Dollinger près Dux (Bohême) fut entièrement noyée ([2]). En moins de vingt-quatre

([1]) *Annales*, 6e, IV, 189.
([2]) *Annales*, 7e, XIX, 406.

heures, 400 000 mètres cubes d'eau envahirent les travaux, en noyant 23 victimes. La source Riesenquelle disparut; la source thermale de Teplitz fut elle-même atteinte, mais elle reprit ultérieurement son cours normal.

La houillère de Braidwood (Illinois) a été inondée le 17 février 1883, et 64 mineurs y ont perdu la vie.

Celle de Haverford-West a été, en 1844, le théâtre d'un coup d'eau qui a fait 40 victimes.

La mine de Lalle (Bessèges) a été envahie, le 11 octobre 1861, par une crue subite de la Cèze, qui s'est étendue sur une prairie dont le sol a crevé ([1]). 109 mineurs ont perdu la vie dans cette catastrophe. M. l'ingénieur en chef des mines Parran réussit à retirer six autres hommes, dont quelques-uns restèrent enfermés pendant 14 jours.

Dans la mine de Landshipping (South Wales), la mer a fait irruption, au moment de la marée, et a surpris 40 mineurs qui n'ont jamais été retirés ([2]).

A Workington (Cumberland), les travaux avaient été poussés trop hardiment sous l'océan; le toit céda, et 37 ouvriers furent noyés ([3]).

1223 — *Mesures préalables.* — Pour prévenir les coups d'eau, quand on redoute la présence de vieux travaux ou de failles aquifères dont l'humidité croissante, et les suintements sous pression révèlent le voisinage, on doit éclairer sa marche en faisant précéder l'avancement de coups de sonde, pratiqués en divergeant, en avant et sur les flancs (fig. 717, 718). S'ils viennent à rencontrer la masse d'eau, elle sortira ainsi d'une manière moins irrésistible, que si un coup de mine ou l'affaiblissement progressif de la paroi déterminait l'écroulement de cette dernière.

Cependant, même avec cette précaution, on a vu la mine de la Plomterie (Liège) noyée à travers un simple coup de sonde de 10 mètres de long et $0^{m},037$ de diamètre, d'où l'instrument avait été rejeté sur les mineurs, sans que ceux-ci eussent pu réussir à

([1]) *Annales*, 6e, IV, 165.
([2]) *Annales*, 7e, XIV, 354.
([3]) *Annales*, 8e, I, 448.

étancher l'orifice. L'épuisement et la rentrée dans les travaux ne durèrent pas moins de sept ans, avant que l'on fût en état de reprendre l'exploitation. On peut juger, par cet exemple, de l'importance des précautions qu'il faut prendre pour *percer aux eaux* ([1]).

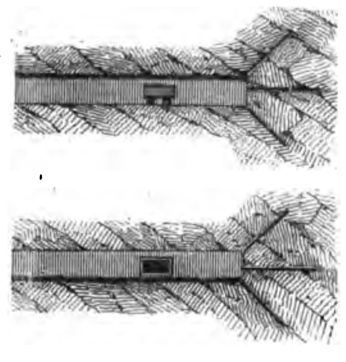


Fig. 717, 718.
Coups de sonde à l'avancement.

Lorsque les divers indices dont nous avons parlé permettent de croire que l'on approche du *bain*, on établit sur le front de taille un robuste revêtement, au moyen d'un boisage fortement étançonné, principalement autour du point où l'on compte effectuer le percement. On élargit l'entrée du trou de sonde, de manière à y assujettir solidement un tuyau, muni d'un robinet. On a soin de le contreventer, afin qu'il ne puisse être chassé hors de son logement. On recommence alors, avec prudence, à pousser en avant le forage.

Au moment du percement, on voit souvent le jet d'eau chasser la sonde avec violence, des irruptions de grisou et d'acide carbonique éteindre les lampes, une pression considérable ébranler tout le système, jusqu'à ce qu'un régime plus tranquille s'établisse, que le bain s'épuise et arrive à ne plus donner que sa *nourriture* normale. Quelquefois tout le front de taille cède à la fois. On doit donc avoir soin de ne tenter cette opération, qu'avec le nombre strictement nécessaire d'hommes éprouvés, après avoir fait sortir le personnel et les chevaux, et rendu les galeries absolument libres, en les éclairant par quelques feux fixes, afin de ménager, pour le poste qui reste à l'avancement, une retraite aussi facile et aussi rapide que possible.

1224 — On prépare également à loisir, dans les mines menacées, des serrements que l'on pourra opposer rapidement à des invasions subites.

([1]) Sur un captage d'eau thermale à l'aide d'un matériel de sondage (Laur, *CRM*, 1881, 197).

Je citerai comme exemple le filon très aquifère de Pontpean, qui a été rouvert, avec minéralisation de galène et flende argentifères, au milieu d'une ancienne fracture, effectuée dans le terrain silurien et injectée par une roche dioritique. Le défaut de solidité de cette matière rend impossible, la plupart du temps, d'établir avec sécurité le réseau des voies de communication dans le filon même. On pratique donc, aux différents niveaux, des costresses dans le rocher. De courtes recoupes viennent, de distance en distance, tâter le filon, et des serrements sont préparés dans ces galeries, ainsi qu'il a été expliqué plus haut (n° 896).

Des précautions semblables sont prises dans les charbonnages de Gréasque, à cause des dangers que présentent les mouillères (n° 887, note) et les sources abondantes auxquelles elles donnent passage.

1225 — *Sauvetage.* — Lorsque l'accident est accompli, on dirige le sauvetage, d'après l'inspection des plans, vers les points *maxima*, où l'on peut espérer que l'air se soit comprimé en cloche, sous la pression des eaux, de manière à empêcher celles-ci d'y pénétrer, en permettant à ces cavités de servir de refuge aux hommes qui auront pu les atteindre.

On prête l'oreille, avec la plus grande attention, et dans un silence absolu, pour discerner le *rappel des mineurs*, c'est-à-dire les coups que les prisonniers frappent contre la roche.

Si l'on est assez heureux pour joindre une de ces cloches par une galerie, un bure, ou une descenderie, il ne faut pas l'aborder sans précautions. Si on la crève directement, en même temps que l'air s'échappera, l'eau montera, et noiera les hommes. La force de la débâcle de cette atmosphère comprimée risque également de briser les ouvriers contre les parois. On peut, pour cet instant critique, chercher à constituer un sas à air, analogue à celui qui permet d'établir les communications, dans la méthode Triger [1], en se servant pour cela de cloisons munies de portes.

On a essayé, comme pour les cas où un homme est pris dans un

[1] Tome I, p. 355.

éboulement, d'envoyer aux ouvriers emprisonnés, des liquides alimentaires, à l'aide de trous de sonde, et de tubes à robinets (¹). Les exemples qui ont été cités plus haut (n° 1222), en montrant pendant quel laps de temps peut résister l'organisme humain, disent assez haut combien on doit apporter de persévérance et d'énergie, dans la conduite de tels sauvetages. Les conditions y sont, du reste, meilleures pour les prisonniers, en présence de l'eau, que dans les éboulements. La soif est, en effet, plus destructive que la faim, et provoque bientôt une fièvre dévorante.

1226 — J'indiquerai, comme exemple de l'application de ces principes généraux, le sauvetage de Tynewidd, qui a été effectué par M. W. Galloway.

Le 11 avril 1877, la mine de Tynewidd (Clamorgan) fut inondée par la rencontre de vieux travaux (²). La figure 719 représente le



Fig. 719. Coup d'eau de Tynewidd.

théâtre de l'accident. La ligne blanche qui la traverse de gauche à droite, marque la trace d'une faille, qui a rejeté l'amont-pendage de 27 mètres de profondeur. Les vieux travaux A, B, étaient pleins d'eau. L'ouvrage CD, imprudemment poussé de ce côté, les creva en D. L'eau envahit tout le quartier, et prit, en raison du plongement de la couche, son niveau tel qu'il est figuré en BC.

Quatorze hommes manquaient à l'appel. Les coups frappés par quelques-uns d'entre eux furent entendus, et révélèrent leur présence dans les montages C et E, où l'air s'était comprimé en cloche. Un pe-

(¹) Upward (*Proceedings of the South Wales Institute of Engineers*, X, n° 5).
(²) *Annales*, 7°, XIV, 63, *Sauvage*. — *CRM*, 1877, septembre, 9.

tit boyau fut percé pour déboucher en C. La violence de la débâcle de l'air fut telle, au moment où l'on creva la paroi pour retirer les hommes, que l'un d'eux fut brisé contre la roche. Quatre autres furent sauvés, le niveau de l'eau n'ayant pas monté jusqu'à eux, au moment de la décompression.

En même temps, on fonçait un bure pour atteindre la cloche E, mais l'air qu'elle renfermait filtra à travers les fissures, et les ouvriers qu'elle renfermait furent noyés avant qu'on pût les joindre.

D'après l'inspection des plans, M. Galloway pensa que le montage F avait pu, lui-même, former un réservoir d'air comprimé, et donner abri à des mineurs. En prêtant attentivement l'oreille en C, il se convainquit, effectivement, que des coups étaient frappés dans cette direction. Il frappa de son côté, et reçut une réponse. Le doute n'étant plus possible, on se mit à l'œuvre pour atteindre le point F par une galerie, et en même temps l'on poussa l'épuisement le plus activement possible, afin de baisser le plan d'eau. On atteignit, au bout de sept jours, cinq mineurs emprisonnés dans ce montage, et l'on put les retirer vivants, grâce à l'abaissement du niveau des eaux, sans que le sas à air, que l'on avait tenté d'établir, eût pu fonctionner.

1227 — *Reprise des mines noyées.* — La mine de Marles (Pas-de-Calais) a perdu successivement deux de ses puits, par l'effondrement de leurs cuvelages [1]. Le second accident, arrivé le 2 mai 1866, fut attribué aux vides considérables créés dans le terrain, pendant le fonçage de l'avaleresse, en raison de l'affouillement produit par les eaux que l'on extrayait au moyen des pompes. Ces vides avaient été simplement remplis de fascines. Un cadre de cuvelage, après avoir menacé ruine, céda malgré tous les efforts. Des torrents d'eau entrèrent dans le puits, qui acheva bientôt de s'écrouler, en entraînant les machines et les constructions établies sur ses bords.

Le désastre était irréparable, et l'on s'est borné à ouvrir une nou-

[1] Glépin. *Établissement des puits dans les terrains ébouleux et aquifères*, in 4°.

velle mine, dans une autre partie de la concession. Cependant un projet a été formulé sommairement pour l'époque, plus ou moins reculée, où l'on jugerait à propos de revenir dans ces parages [1]. Il consisterait à déhouiller d'abord tout le reste de la concession, en dehors de la partie inondée, dont on possède les plans, et en se gardant contre elle par des investisons suffisants. A ce moment, on reviendrait au-dessous de cette région, à 500 mètres par exemple de la surface, et l'on exploiterait par une méthode descendante, en remblayant le mieux possible afin d'éviter les mouvements, et s'enfonçant jusqu'à la limite de profondeur que permettraient, pour cette époque, les progrès réalisés dans l'art des mines. Alors seulement on remonterait du niveau de 500 vers celui de 175, où se trouve l'inondation, en déhouillant avec prudence, et s'arrêtant aux premières inquiétudes.

Il n'a pas paru admissible de rentrer directement dans le quartier inondé, et d'y établir des serrements, puisque la communication est ouverte avec les niveaux aquifères, à travers un large passage rempli de pièces de bois, d'organes de machines et de pans de maçonnerie.

1228 — Cependant une tentative du même genre, placée à la vérité dans des conditions moins désavantageuses, vient d'être accomplie avec un plein succès par M. Reumeaux, à Douvrin (Pas-de-Calais). Ce travail mérite d'être considéré comme l'un des plus beaux modèles que puisse présenter l'art des mines, en fait d'opérations difficiles et ponctuellement réalisées, d'après les prévisions les plus habilement combinées. J'entrerai donc, à cet égard, dans quelques détails circonstanciés [2].

Un puits de 240 mètres existait dans la concession de Douvrin. Pour profiter de cette profondeur, tout en déplaçant la recherche d'une cinquantaine de mètres dans le sens horizontal, on ouvrit une galerie et un beurtia de 70 mètres de hauteur, lequel rencontra le calcaire carbonifère à ce niveau. Ce point essentiel une fois constaté, on amorça une recoupe destinée à rejoindre la verticale du

[1] Callon. *Mémoire* à présenter aux ingénieurs consultés, etc. (autographié).
[2] *Société industrielle de Lille*, séance du 23 février 1884.

puits, et à compléter ce dernier par un foncement sous stot. La traversée d'une faille donna une venue d'eau de 150 mètres cubes en 24 heures, devant laquelle on battit en retraite, et qui coula, sans modification sensible, pendant 21 mois. Des moyens suffisants d'épuisement ayant été installés, on put battre les eaux, et reprendre le percement de la galerie, en se faisant précéder de cinq coups de sonde de 6 mètres de longueur. Bientôt un coup d'eau irrésistible se produisit, à la suite de l'explosion d'un coup de mine. On réussit à sauver les hommes, mais les chevaux furent noyés. Rien ne pouvait faire présager cette catastrophe. Pendant le percement, l'eau arrivait sans aucun sifflement de nature à indiquer une grande pression. On doit croire qu'elle était tamisée par un bouchon filtrant, qui détruisait sa tension, et qui aura cédé sous l'ébranlement du coup de mine. Au même moment, une baisse sensible se produisait, à 6 kilomètres de là, dans un puits noyé de la concession de Meurchin. Les eaux s'élevèrent, à Douvin, jusqu'à la surface du sol. Un essai d'épuisement, à raison de 8000 mètres cubes en 24 heures, ne réussit qu'à baisser leur niveau de 10 mètres, et il en aurait fallu 300. La lutte était donc impossible.

M. Reumeaux conçut dès lors la pensée hardie de percer un trou de sonde au-dessus du beurtia (fig. 720, 721), d'y passer des charges de dynamite et des conducteurs électriques, pour en détruire l'encombrement, et de descendre ensuite, à l'état fluide, tous les éléments d'une plate-cuve, destinée à fermer ce bure, en supprimant ainsi la communication de la mine avec la faille aquifère, par l'intermédiaire de la galerie, sauf à épuiser ensuite la quantité d'eau limitée qui se trouvait accumulée dans les travaux. Ce programme fut rigoureusement exécuté de la manière suivante.

Le centre du beurtia fut déterminé, à la surface, avec la plus minutieuse exactitude, pour permettre de se glisser entre les obstacles, bien connus, qui se trouvaient accumulés dans ce faux puits. Le sondage, de $0^{m},31$ de diamètre, fut tubé à 100 mètres de profondeur, en vue de l'isoler des niveaux de la craie. La base du tubage portait une boîte à mousse. On l'immergea dans un lit de mortier au ciment, et le joint devint tellement étanche, qu'après que l'on eut détruit, à l'aide du trépan, la masse de mortier de l'intérieur, on

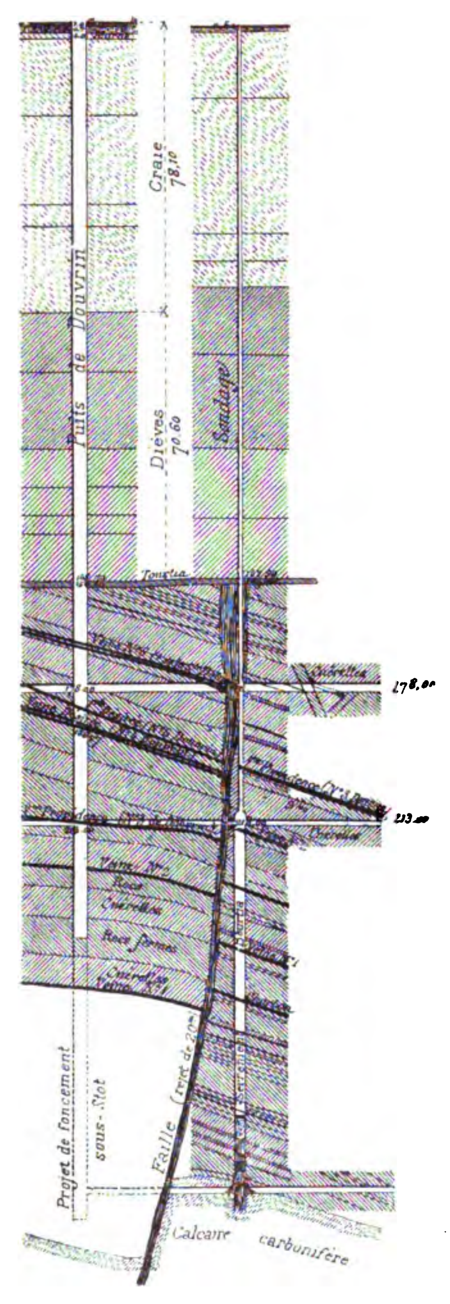


Fig. 720. Coup d'eau de Douvrin (coupe verticale).

dut ensuite verser de l'eau dans le trou de sonde, pour en faciliter le forage. Un ressort fut disposé à l'avance sur la tige, afin de prévenir sa rupture, au moment où le trépan percerait la voûte du bure, et y tomberait dans le vide. On déboucha en effet dans cette cavité, et l'on s'occupa dès lors d'y préparer l'emplacement de la plate-cuve.

Les renseignements que l'on possédait permirent de choisir, en connaissance de cause, le niveau de son installation (entre 293 et 304 mètres), de manière à trouver une roche sûre comme solidité et étanchéité, en conservant en même temps, au-dessous, un réceptacle suffisant pour loger tous les débris de son nettoyage. Il fallait, en effet, déshabiller le puits de sa maçonnerie grossière, incapable de tenir les eaux; et le débarrasser, en outre, des paliers en fonte, sommiers en bois, échelles en fer, qui l'encombraient; et surtout des tuyaux de descente d'eau, d'élévation des pompes, d'aérage direct et rétrograde, d'air comprimé, qui eussent formé de libres passages pour l'eau. Neuf charges

de dynamite-gomme, de 10 à 40 kilogrammes, furent employées pour cette destruction. On ébranla la maçonnerie à distance, afin de ne pas disloquer la roche derrière elle.

Au contraire, on coupa net, au contact, les organes métalliques. On se servit, pour cela, d'outils à empreintes disposés avec une grande ingéniosité, des renseignements fournis par les anciens plans, et d'essais de comparaison exécutés à la surface, sur des objets similaires. On put reconnaître finalement que la place était parfaitement dégagée, sauf le maintien des quatre câbles-guides. Les couper au pied eût été s'exposer à les voir se tordre en tire-bouchons. Les abattre à partir de la surface eût occasionné des ébranlements fâcheux. On résolut de les conserver, avec la confiance, qu'une fois empâtés dans la masse de la plate-cuve, ils n'occasionneraient aucune fuite.

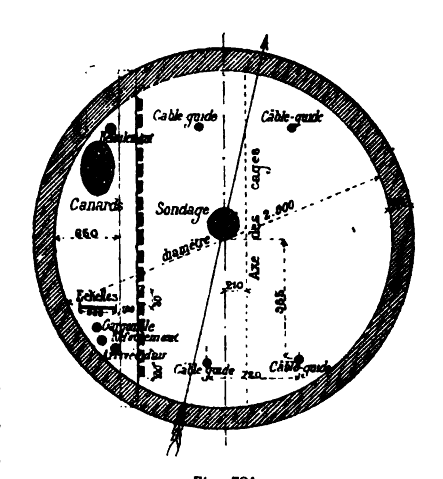


Fig. 721.
Coup d'eau de Douvrin (coupe horizontale).

On s'occupa enfin de couler, à travers le trou de sonde de 0m,31 les matériaux de la plate-cuve, à l'aide d'engins habilement combinés, que nous ne saurions décrire ici. Cet ouvrage fut constitué de la manière suivante, à partir de la base.

1° 1m,20 de dièves plastiques en bouillie claire, afin d'empâter les débris chaotiques des démolitions;

2° 0m,30 de ciment de Portland en bouillie épaisse, pour constituer une assiette d'une certaine fermeté;

3° 1m,10 de dièves à grain fin, destinées à pénétrer, sous la pression, dans toutes les fissures avoisinantes;

4° 3m,35 de ciment pur, pour former un nouveau plafond d'une grande solidité;

5° 3m,25 de béton composé de 4 parties de ciment de Portland, 2 parties de sable de rivière, 6 de gravier fin;

6° 4m,85 de béton constitué des mêmes éléments, en proportions un peu différentes;

7° 0m,60 de ciment pur, pour conclure.

Au-dessus de cette plate-cuve proprement dite, on entassa une masse importante de béton plus maigre, pour procurer, non pas l'étanchéité pour son propre compte, mais une adhérence supplémentaire, destinée à soulager celle de l'ouvrage principal.

Lorsque l'on put croire que la prise était complète, on commença l'épuisement. Cette opération se poursuivit avec des alternatives inquiétantes, dont on n'eut la clef que plus tard. Par intervalles, on extrayait des quantités d'eau importantes, sans que le niveau baissât. On en devait conclure que la plate-cuve se laissait traverser. Pour s'en assurer, M. Reumeaux descendit un moulinet de Woltmann, dont des conducteurs électriques effectuaient le comptage à la surface. Il put constater ainsi qu'aucune venue ne se manifestait au fond. Plus haut, le moulinet indiquait un courant, qui provenait de la détente progressive de l'air, comprimé par l'inondation dans les cloches supérieures des travaux. Plus tard, on put craindre la formation d'une sous-pression, capable de rompre en dessous les cuvettes de béton, encore peu solides. Pour conjurer ce danger, on perça des trous dans le cuvelage, afin d'y faire entrer les eaux de la craie supérieure, et de rétablir le niveau piésométrique. Après différentes alternatives, la mine se trouva enfin dénoyée, et l'on put constater sur place que la plate-cuve tenait rigoureusement les eaux.

En dehors du talent qui a présidé à l'organisation et à l'exécution de ce travail, on ne saurait omettre cette occasion d'insister sur l'importance capitale, pour une exploitation souterraine, d'avoir ses plans tenus à jour avec un ordre parfait, et de posséder une abondante collection de documents bien classés. Sans le secours de tous les renseignements de détails, que renfermaient les archives de la compagnie, il eût été impossible d'espérer une pareille réussite.

1229 — *Scaphandre.* — On peut rattacher, à cet ordre de considérations, l'emploi du scaphandre pour les travaux à effectuer sous l'eau [1]. Son origine remonte à Klingert (1797). Perfectionné par

[1] Travail par plongeurs aux mines de zinc de Scharly (*Œsterreichische Zeitschrift*, XXIV, 214). — Biver. Emploi du scaphandre dans une mine noyée (*Bull. min.*, 2e, IX, 842). — Fineuse. Emploi du scaphandre (*Annales des travaux publics de Belgique*,

Siele (1829), Cabirol (1857), Denayrouze (1867), et simplifié par M. H. Fayol (fig. 722), il rend aujourd'hui de réels services pour les réparations de pompes noyées, de cuvelages Chaudron, etc. La suppression du casque permet de plonger nu, ou avec un vêtement imperméable. On vient d'ajouter, au tube aérophore, une communication téléphonique, afin de maintenir le plongeur en communication constante avec l'extérieur. Dans le bassin de Westphalie, des compagnies de scaphandriers volontaires sont exercées à la manœuvre de cet appareil, pour laquelle on leur donne une haute paye (1).



Fig. 722. Scaphandre.

Quant aux moyens d'éclairage sous l'eau, on possède la lampe Cabirol, la lampe au pétrole Rouquairol-Denayrouze, celle de M. Fayol, et la lampe du Temple. Lorsque l'eau est très trouble, ces moyens demeurent insuffisants. MM. Barnett et Poster ont proposé, pour ce cas, un système d'éclairage à la lumière Drummond, et MM. Henilhe et Davis celui de la lumière électrique (2).

XXXII, 203). — Kelecom. Emploi du plongeur Denayrouze (*Rev. univ. d. m. et u.*, 1re, XL, 432). — Appareil plongeur Denayrouze. Paris, 1874, p. 17. — Buisson. Appareil Rouquairol-Denayrouze (*Bull. min.*, 2e, IX, 846). — Grand-Eury. Application de l'appareil Rouquairol-Denayrouze (*Bull. min.*, 2e, II, 139). — Pellegrini. Emploi à Monteponi de l'appareil Rouquairol-Denayrouze (*Bull min.*, 2e, II, 575; III, 173). — Nouvelles applications de l'appareil plongeur (*Bull. min.*, 2e, II, 575). — Réparation à la pompe du puits Thibaut (*Rev. univ. d. m. et u.*, 1re, XXXII, 250). — *Bull. min.*, 1re, X, 585, Deny; 2e, II, 239, Chansselle; 2e, II, 755, De Place. — Des aérophores, par A. et L. Denayrouze, Paris, 1872, p. 62.

(1) Rapport de l'assesseur des mines Tilmann pour le district de Bochum.

(2) *Les Mondes*, XLV, 529.

§ 4

STATISTIQUE DES ACCIDENTS

1230 — *France.* — Outre les coups de grisou ou de poussière, l'incendie, l'éboulement, et l'inondation, qui viennent de nous occuper, d'autres accidents menacent encore le mineur, dans cette lutte engagée contre toutes les forces de la nature. On peut redouter, pour lui, l'asphyxie par des dégagements naturels, l'explosion des coups de mine, la rupture des câbles, la chute directe des hommes dans les puits, celle de corps solides sur les ouvriers placés dans la benne, le cisaillement d'une partie du corps allongé hors de la cage, le laminage dans les fahrkunst (n° 1259).

Ces questions, déjà envisagées ailleurs, ne sauraient être reprises ici avec de nouveaux développements. Nous avons, en effet, insisté sur l'aérage, qui combat les exhalaisons (n° 984), et sur les moyens de rentrer dans les milieux méphitiques (n°s 1129, 1200), sur les précautions qui doivent environner l'emploi des explosifs (chap. VIII), sur les soins à donner aux câbles (chap. XXXI), et à leurs attaches (n° 736), sur l'emploi des parachutes (n° 742), sur les balustrades mobiles dont il faut environner l'orifice des puits (n°s 761, 765), et les toits qui garantissent les cages d'extraction (n°s 733, 735), les grillages qui environnent leurs parois latérales (n° 735), etc.

Il nous reste seulement à fournir, sur ces divers sujets, quelques données numériques comparatives. D'après les documents fournis par le service de la Statistique minérale en France et en Algérie pour l'année 1880 [1], les accidents se répartissent de la manière suivante, entre les différents genres d'exploitations [2] :

[1] P. 57 du Rapport préliminaire. Bien que les résultats de 1881 et 1882 soient aujourd'hui publiés, il a paru préférable, pour faciliter les rapprochements, d'employer ici ceux qui se rapportent aux mêmes exercices que les tableaux statistiques déjà insérés dans le t. I (p. 573 et suivantes).

[2] On peut consulter également les documents suivants : Delsériès. Accidents du bassin de la Loire de 1817 à 1852 (*Annales*, 3e, II, 496). — Statistique des accidents survenus en 1873 dans les mines de la Grande-Bretagne (*Annales*, 7e, VI, 628, Bulletin; VII, 612, Bulletin). — Ad. Boisse. Recherches sur les explosions dans les mines de houille, et sur les moyens de les prévenir, 1840. — Meurgey. Accidents du bassin de Rive-de-Gier de 1873 à 1879 (*CRM*, 1880, 79). — Blavier (*Bull. Soc. d'enc.*, 3e, XI, 40). — Rapport des inspecteurs des mines anglaises pour 1882 (*Génie civil*, IV, 113).

EXPLOITATIONS			NOMBRES D'OUVRIERS EMPLOYÉS			NOMBRES DE VICTIMES		PROPORTIONS	
NATURE		NOMBRE	FOND	SURFACE	TOTAL	TUÉS	BLESSÉS	NOMBRE pour 1 mort	NOMBRE pour 1 blessé
MINES.	Combustibles	336	76 054	31 082	107 236	188	1 066	570	100
	Minerais de fer	79	4 397	1 451	5 828	11	49	527	118
	Diverses	111	3 563	2 314	5 877	11	14	536	421
	Ensemble	*526*	*84 114*	*34 827*	*118 941*	*210*	*1 129*	*566*	*105*
CARRIÈRES SOUTERRAINES	Minerais de fer	43	425	323	748	»	1	»	700
	Pierres, gypse, etc.	5 002	14 845	8 406	23 251	66	162	353	144
	Ensemble	*5 045*	*15 270*	*8 729*	*23 999*	*66*	*163*	*364*	*185*
DÉCOUVERTS	Minerais de fer	162	»	1 468	1 500	1	7	1 500	214
	Tourbe	867	»	28 660	28 600	»	»	»	»
	Divers	28 053	»	93 881	93 900	107	111	877	846
	Ensemble	*29 082*	»	*124 018*	*124 018*	*108*	*118*	*1 148*	*1 051*
ALGÉRIE.	Mines	19	1 028	1 873	2 901	9	5	322	580
	Découverts	179	»	2 144	2 144	2	4	1 050	525
	Ensemble	*198*	*1 028*	*4 017*	*5 045*	*11*	*9*	*454*	*555*
TOTAL GÉNÉRAL		**34 851**	**100 412**	**171 591**	**272 003**	**395**	**1 419**	**688**	**192**

En ce qui concerne la nature des accidents eux-mêmes, ils se répartissent de la manière suivante, si on les rapporte à un *total abstrait de cent mille hommes employés à l'intérieur :*

ACCIDENTS	CHARBONNAGES		MINES DIVERSES		CARRIÈRES SOUTERRAINES	
	TUÉS	BLESSÉS	TUÉS	BLESSÉS	TUÉS	BLESSÉS
Éboulements	100	680	122	256	353	340
Chutes dans les puits	40	72	89	56	13	26
Explosifs	6	58	22	100	20	85
Câbles rompus, chutes de bennes	9	58	22	22	46	13
Coups de grisou	20	33	»	»	»	»
Asphyxie	22	»	22	»	»	»
Inondation	3	»	»	»	»	»
Causes diverses non désignées	36	445	33	222	»	386
Totaux de tués ou blessés	236	1 344	310	656	432	850
Totaux d'hommes atteints	1 580		946		1 282	

Quant aux travaux à ciel ouvert, qui sont naturellement beaucoup moins dangereux que ceux du fond, on a compté les proportions suivantes, pour 100 000 ouvriers :

ACCIDENTS	TUÉS	BLESSÉS	ATTEINTS
Éboulements	87	66	153
Coups de mine	7	11	18
Causes diverses	18	48	66
Totaux	112	125	237

Les accidents de tous genres atteignent de manières très diverses les hommes affectés aux différentes fonctions. Je citerai, à cet égard, un relevé relatif aux mines de la Béraudière ([1]), et portant sur vingt

([1]) *CRM*, 1876, Janvier, 12, Pinel.

années consécutives (1854 à 1874). Les chiffres de la première colonne désignent les rapports absolus, pour 100 accidents répartis sur les diverses catégories, en tenant compte du nombre effectif des employés appartenant à chacune d'elles. La seconde colonne présente les résultats rapportés, au contraire, à un nombre identique de personnes des diverses classes.

Gouverneurs	0,50	1,37
Piqueurs	27,00	10,68
Boiseurs	13,00	8,41
Rouleurs	18,00	12,95
Glisseurs	4,00	12,41
Toucheurs	9,00	20,68
Enchaîneurs	4,00	6,89
Remblayeurs	15,00	8,23
Cantonniers	1,00	6,70
Mineurs	8,00	11,48
	99,50	99,80

1231 — Si, pour préciser plus exactement les proportions relatives aux divers genres d'accidents, nous nous restreignons *aux charbonnages*, puisqu'ils sont seuls sujets au grisou, nous obtiendrons les chiffres suivants, rapportés à un *total abstrait de cent victimes* :

ACCIDENTS	TUÉS	BLESSÉS	ATTEINTS
Éboulements	42,32	50,64	49,38
Chutes dans les puits	16,92	5,35	7,08
Explosifs	2,55	4,31	4,05
Câbles rompus, chutes de bennes	3,82	4,31	4,24
Coups de grisou	8,46	2,45	3,35
Asphyxie	9,39	»	1,39
Inondation	1.27	»	0,19
Causes diverses	15,27	32,94	30,32
Totaux	100,00	100,00	100,00

Au premier rang d'importance se place l'éboulement ([1]), qui représente 42 °/₀ des cas mortels. En second lieu, on trouve le danger des puits qui, en groupant ensemble les chiffres concernant la chute directe des hommes et les ruptures de câbles, forme 21 °/₀, c'est-à-dire la moitié du chiffre relatif à l'éboulement. L'influence des gaz, si l'on réunit, avec l'asphyxie, les explosions de grisou, donne encore une proportion presque égale : 18 °/₀. Le surplus, en quantité encore à peu près équivalente : 19 °/₀, est représenté par les coups de mine, l'inondation et les causes non spécifiées.

Ces divers genres d'accidents ne présentent pas tous, du reste, le même degré de gravité. Les éboulements donnent lieu à beaucoup de blessures, car la proportion des morts : 42, est inférieure à celle : 49, des hommes atteints. Pour d'autres, au contraire, le nombre des décès l'emporte ; comme pour la chute dans les puits : 17 au lieu de 7 ; les coups de grisou : 8 au lieu de 3. Pour d'autres enfin, l'accident est nettement mortel, comme pour l'asphyxie et l'inondation (ce qui ne veut pas dire, bien entendu, que cette fatalité soit nécessairement inhérente à ce genre d'accidents, mais simplement, qu'en 1880, les choses se sont passées ainsi ; ou plutôt encore, que l'on n'aura pas mis au rang des blessés les hommes qui ont pu, dans ces conditions, être rappelés à la vie).

On remarquera que l'influence du grisou représente, dans ce total, 8,5 °/₀ des morts et 3,3 °/₀ des hommes atteints. Ce chiffre est, en un sens, de nature à rectifier les idées, parfois exagérées, que l'on se fait sur la prépondérance de ce genre de dangers. Nous venons de voir que l'éboulement, dont le public se préoccupe infiniment moins, est bien plus meurtrier, quoiqu'il exerce ses ravages d'une manière beaucoup moins retentissante. Il est cependant nécessaire de faire remarquer que ces chiffres ne donnent, au fond, qu'une appréciation assez vague de ce genre de danger. Ils se rapportent, en effet, à la totalité des charbonnages, dont les uns sont absolument indemnes, sous ce rapport, tandis que d'autres concentrent,

([1]) Il convient de faire observer que l'année 1880 a été marquée par un accident exceptionnel, l'effondrement des carrières de Ports (Indre-et-Loire), qui a occasionné 25 morts et 8 blessures. Mais cette catastrophe n'est pas comprise dans le chiffre relatif aux charbonnages.

au contraire, presque tout le péril. Dans un massif nettement grisouteux, que l'on isolerait pour en établir les moyennes, il est évident qu'elles ressortiraient d'une manière toute différente. Mais, à cet égard, on se trouverait, pour établir de telles appréciations, en face d'une grande variabilité.

On peut encore rapporter la mortalité due aux accidents, non plus au nombre des ouvriers, mais au chiffre de l'extraction. Le *nombre de milliers de tonnes qui correspond à un décès* a varié, en France, de la manière suivante, dans une période de dix ans :

ANNÉES	NOMBRE DE MILLIERS DE TONNES	ANNÉES	NOMBRE DE MILLIERS DE TONNES
1871	51	1876	42
1872	73	1877	72
1873	73	1878	111
1874	78	1879	104
1875	76	1880	103

C'est donc une moyenne de 79 300 tonnes par homme tué, ou près de 80 000 tonnes; chiffre qui a paru, dans ces dernières années, s'établir au-dessus de 100 000 tonnes.

1232 — *Angleterre.* — En Angleterre, la mortalité par accidents dans les mines de houille, de fer des houillères, de terre réfractaire, et de schiste, a été la suivante, pendant la période décennale 1873-1882 [1] :

[1] Blanchard de Farges (*Annales*, 8e, IV, 614, Bulletin). — Il convient de rapprocher ce tableau de celui du n° 1243, qui fait connaître la population ouvrière et le tonnage de l'extraction.

TABLEAU.

ANNÉES	NOMBRE DE DÉCÈS	MORTALITÉ pour 100000 personnes	ANNÉES	NOMBRE DE DÉCÈS	MORTALITÉ pour 100000 personnes
1873	1 069	208	1878	1 413	297
1874	1 056	196	1879	973	204
1875	1 244	232	1880	1 318	272
1876	933	181	1881	954	192
1877	1 208	244	1882	1 126	233

La mortalité s'est répartie de la manière suivante, dans la période décennale 1856-1865 (¹) :

ACCIDENTS	NOMBRE DE DÉCÈS	PROPORTION
Éboulements	395	39,87
Grisou	202	20,36
Puits	171	17,24
Causes diverses	223	22,53
TOTAL	991	100,00

Si l'on isole les *décès dus aux explosions de grisou*, on observe cette marche décroissante (²) :

PÉRIODES	DÉCÈS pour 1 MILLION DE TONNES extraites	DÉCÈS pour 100 000 OUVRIERS au jour et au fond
1851-1860	3,33	99,90
[illegible]-1870	2,14	70,40
1871-[illegible]78	1,81	53,00

(¹) Rapport de [illegible]ission de M. de Ruolz sur la question des houilles, III, 79. — Rapport des Inspecteurs [illegible] Royaux des mines de la Grande-Bretagne (*Génie civil*, IV, 113).

(²) *PA*, Angleterre, 40. [illegible] — *Rapport de la Commission belge du grisou*, 234.

1233 — *Belgique.* — En Belgique[1], la proportion du nombre de *morts dues aux seuls effets du grisou* a été, par *million de tonnes extraites* :

PÉRIODES	DÉCÈS
1830-1839.	9,75
1840-1849.	5,32
1850-1859.	4,83
1860-1869.	2,50
1870-1879.	2,94

Cette marche graduelle est bien propre à manifester les progrès que les conditions de sécurité ont accomplis, parallèlement avec l'accroissement de la production et de la profondeur. Certaines années ont été absolument indemnes, comme 1837 et 1853. Dans d'autres, au contraire, le chiffre est exceptionnellement élevé : 21,47 en 1838, et 23,38 en 1839, qui constitue le maximum. Depuis 1853, si l'on excepte les années 1879 (9,00) et 1875 (10,79), qui ont été marquées par les deux accidents de l'Agrappe, on n'avait jamais dépassé 5,33. La moyenne de ces vingt-sept années a été de 2,57. Si l'on défalquait, pour les mettre à part, ces deux accidents exceptionnels, elle s'abaisserait, pour les vingt-cinq autres années, à 1,99. Il semble donc que, si l'on arrivait à éviter les accidents très exceptionnels, la moyenne normale pourrait se limiter, en ce qui concerne le grisou seulement, à un décès pour 500 000 tonnes.

En rapportant à un total abstrait de cent mille ouvriers employés à l'intérieur, les décès occasionnés en Belgique par le grisou, on arrive à une moyenne de 46 dans les vingt-cinq années qui ont précédé 1880, et de 105 pendant les vingt-cinq autres années antérieures. C'est donc une moyenne générale de 74 par an, pendant ce demi-siècle. Mais la subdivision en deux périodes met encore en évidence les progrès réalisés sous ce rapport.

(1) *Rapport de la Commission belge du grisou*, 232.

1234 — *Allemagne.* — En Prusse (¹), on a, ***en se limitant aux décès occasionnés par le grisou***, enregistré ces résultats :

ANNÉES	NOMBRE par MILLION DE TONNES extraites	NOMBRE pour 100 000 OUVRIERS au fond et au jour	PROPORTION EN CENTIÈMES du nombre de décès dus au grisou au chiffre total de morts accidentelles
1872.	2,31	46	14,90
1873.	1,72	36	13,10
1874.	1,27	36	9,10
1879.	1,37	35	11,71

En Saxe (²), on a obtenu, ***pour le grisou seulement***, les chiffres suivants, comme moyenne des six années comprises de 1873 à 1878 :

Nombre de décès par million de tonnes extraites	2,98
— — pour cent mille ouvriers de l'intérieur.	71,00
Proportion en centièmes du nombre des morts dues au grisou, au chiffre total des décès accidentels	18,48

1235 — *Comparaison.* — M. Blavier, dans une intéressante étude (³), établit clairement la supériorité des conditions de sécurité des houillères françaises sur celles de la Grande-Bretagne, au moyen des chiffres suivants, relatifs à l'année 1880, et qui expriment le nombre d'ouvriers employés correspondant à une seule mort accidentelle.

ACCIDENTS	FRANCE	ANGLETERRE
Grisou.	6 933	971
Éboulements.	1 425	1 049
Puits	2 740	5 329
Causes diverses.	2 039	2 535
Extérieur	13 000	5 510

(¹) *PA*, Allemagne, 121. — Dombre, *Le grisou*, 167.
(²) *PA*, Allemagne, 23.
(³) *Bull. Soc. d'enc.*, 3ᵉ, XI, 43.

M. Vuillemin, dans un récent travail basé sur une statistique de dix années, établit, plus largement encore, la supériorité des conditions des mines de France [1]. Le nombre d'ouvriers tués sur 100 000 se répartit effectivement de la manière suivante :

Saxe	339
Prusse	290
Belgique (Hainaut)	238
Angleterre	218
Autriche	211
France	209

La comparaison suivante, entre les charbonnages des pays européens de grande production, a été portée à la tribune de la Chambre des Représentants de Belgique [2].

[1] *Mémoires de la Société des Ingénieurs civils*, mars 1884, p. 349.
[2] Discours de M. Sainctelette, *Ministre des travaux publics* (séance du 6 avril 1880).

TABLEAU.

ANNÉES	BELGIQUE		FRANCE		ANGLETERRE		PRUSSE	
	OUVRIERS	TUÉS	OUVRIERS	TUÉS	OUVRIERS	TUÉS	OUVRIERS	TUÉS
1871	94 286	257	76 268	247	370 881	1 075	131 337	403
1872	98 863	253	83 620	205	413 334	1 060	139 858	383
1873	107 902	292	107 044	238	487 256	1 069	159 562	450
1874	109 631	270	107 319	218	538 820	1 056	161 993	484
Moyenne décennale de 1869 à 1878	101 224	230	93 017	227	431 252	1 115	151 414	433
Nombre de décès par 100 000 ouvriers.	227		243		257		286	

Cette même comparaison, présentée par M. le Conseiller Royal des mines de Prusse Hasslacher, pour la période décennale 1871-1880, donne les résultats suivants (1) :

ÉTATS	EXTRACTION — Tonnes	OUVRIERS EMPLOYÉS	TUÉS	TUÉS sur CENT MILLE	NOMBRE pour 1 DÉCÈS
Autriche.	3 071 628	24 680	46	211	540
France	16 774 497	103 680	230	221	451
Grande-Bretagne.	132 906 100	482 183	1 135	235	424
Belgique.	13 346 545	92 903	224	241	414
Prusse	33 765 022	151 180	438	290	345
Saxe	3 116 437	15 673	53	339	295

M. Vuillemin (2) a établi un rapprochement très intéressant, entre les chiffres de la mortalité dans les mines et ceux de la marine, ainsi que de l'industrie des chemins de fer.

En comparant les résultats des rapports du service médical du chemin de fer du Nord (1868-1873), avec ceux de l'exploitation des houillères de cette région, il a reconnu que le chiffre des morts est sensiblement le même : 163 contre 159 sur 100 000, mais que celui des blessés y est presque six fois et demie plus considérable que dans les mines : 13 900 contre 2150 sur 100 000. Il est, en outre, important de remarquer que les blessures affectent, sur le chemin de fer, un caractère de gravité particulier, et qu'en même temps, une partie du personnel compris dans les évaluations précédentes, celui des bureaux, se trouve soustrait, par la nature de ses occupations, aux chances d'accidents.

En ce qui concerne la marine, les éléments d'appréciation ont été assez restreints et très variables, mais le résultat montre avec évidence une mortalité, par les naufrages, très notablement supérieure à celle qui est due aux accidents de mine (3).

(1) *Annales*, 8e, III, 445.
(2) Cahier lithographié in-18, 2e série, n° 6, décembre 1883.
(3) Presque 6 fois et demie davantage, avec les éléments sur lesquels est basée cette évaluation, et qui, à la vérité, sont relatifs à une navigation particulièrement dangereuse.

CHAPITRE XLIX

PERSONNEL

—

§ 1

ORGANISATION

1236 — Les mines appartiennent, soit à un concessionnaire unique, soit, le plus souvent, à des Sociétés, établies sur les diverses bases que comporte notre législation, et représentées par une gérance, ou un conseil d'administration, en rapports constants avec un directeur ou un administrateur-délégué.

La conduite technique des travaux est placée sous les ordres directs d'un ingénieur en chef ou ingénieur principal, qui a, pour le seconder, suivant l'importance de l'affaire, et le degré de dissémination des divers sièges d'exploitation, un certain nombre d'ingénieurs divisionnaires et de sous-ingénieurs. Le rapport, autant que possible quotidien, unit les divers chefs de service à la direction centrale de l'ingénieur en chef.

Chaque ingénieur a, pour le service de sa division, plusieurs maîtres-mineurs (porions, gouverneurs, jurats, etc.). Ces agents passent toute la durée du poste sur les travaux, entrant ou sortant à leur gré, suivant les nécessités qui se présentent. Ils ont sous leurs ordres des chefs de poste (contre-maîtres, sous-gouverneurs, surveillants, maîtres-ouvriers, petits-porions, etc.), qui ne quittent pas leurs hommes, et restent avec eux dans le fond, circulant pour exer-

cer leur direction et leur surveillance sur les mineurs, les boiseurs, les rouleurs, etc., l'état du grisou, le tirage à la poudre, etc. [1].

1237 — La direction d'une mine a un double devoir à remplir. Il lui faut, d'une part, faire fructifier les capitaux engagés dans l'affaire, pour leur obtenir la juste rémunération, qu'ils pourraient rencontrer dans des entreprises moins hasardeuses. Elle doit, en outre, procurer les moyens d'existence, le bien-être matériel, et les secours moraux dans la mesure du possible, aux ouvriers qui apportent le concours de leurs bras et de leur intelligence. Des devoirs réciproques s'imposent, par cela même, au travailleur, à l'égard du patron qui l'emploie; et les meilleurs amis de l'ouvrier ne doivent pas se lasser de les lui rappeler, en s'efforçant de lui en faire comprendre l'accord avec son véritable intérêt, malgré les principes fallacieux qui lui sont présentés chaque jour, pour obscurcir son jugement, flatter ses penchants, et surexciter en lui l'amertume de la souffrance.

Ce serait une erreur de croire que ces deux intérêts, qui doivent appeler la sollicitude d'un directeur, soient précisément antagonistes, de telle sorte que ce qui sera gagné pour l'un soit nécessairement enlevé à l'autre. La réalité est différente, et plus consolante. L'équité dans les rapports du patron et de l'ouvrier amène, dans les résultats, une amélioration productive à la fois pour tous les deux. Ajoutons qu'à la considération purement économique des intérêts matériels, qu'il ne faut pas redouter d'affirmer nettement, et en dehors de toute autre, car, sans cette base, on ne saurait rien édifier de durable, il s'adjoint, pour les cœurs bien placés et les esprits généreux, des vues plus élevées. Les chefs des grandes entreprises ont, en effet, une noble mission à remplir, en cherchant à répandre le bien, sans en attendre la compensation immédiate et équivalente, et en s'attachant à améliorer la condition d'une classe des plus inté-

[1] En Angleterre, la direction supérieure appartient, en général, à un *viewer*, non résidant, et chargé habituellement d'une ou deux mines; ou même à un *consulting mining engineer*, qui s'occupe d'un plus grand nombre d'exploitations. Sur le lieu même, un *underviewer* ou *manager* assume la direction effective des travaux, ainsi que l'exécution des plans et projets. Il a, au-dessous de lui, toute une maistrance d'*officers* appelés *overmen* et *fore-overmen*, *baillifs*, *firemen*, *deputies*, *underlookers*, etc.

ressantes, appliquée à d'aussi rudes travaux que ceux des mineurs.

Nous décrirons donc successivement, dans ce chapitre, le mécanisme à l'aide duquel la rétribution affectée à l'ouvrier assure son concours pour le travail à produire, et, en second lieu, les institutions qui sont établies aujourd'hui, avec une largeur digne de grands éloges, par les Compagnies dont les forces le permettent, en vue de procurer, dans la mesure limitée qui est accessible aux efforts humains, le bien-être matériel et le progrès moral de la population minière.

1238 — Parmi les ouvriers des mines, on distingue ceux du fond et de l'extérieur.

Depuis la promulgation de la loi du 19 mai 1874, les *femmes*, *filles*, *fillettes* ne peuvent être employées à l'intérieur, mais seulement à la surface ([1]). Dans certains pays étrangers, elles travaillent encore au fond, avec des vêtements masculins.

Les *gamins* ([2]) peuvent être employés dès l'âge de 12 ans, mais pendant une durée qui est limitée par l'article premier du décret du 12 mai 1875, et seulement pour des occupations définies par l'article second ([3]). Ce ne serait pas, du reste, apprécier sainement l'in-

([1]) « Art. 7. — Aucun enfant ne peut être admis dans les travaux souterrains des mines, minières et carrières, avant l'âge de douze ans révolus. Les filles et femmes ne peuvent être admises dans ces travaux. »

([2]) Tallon et Maurice. *Législation sur le travail des enfants dans les manufactures*, 1875, in-8°. — Gustave Maurice. Guide pour l'application de la loi sur le travail des enfants dans l'industrie. In-8°, Paris, 1875.

([3]) Décret du 12 mai 1875, rendu à la suite d'un rapport présenté par M. de Freycinet au Comité des Arts et Manufactures, le 3 mars 1875.

« Art. 1er. — La durée du travail effectif des enfants du sexe masculin de douze à seize ans dans les galeries souterraines des mines, minières et carrières, ne peut excéder huit heures sur vingt-quatre heures, coupées par un repos d'une heure au moins.

« Art. 2. — Les enfants de douze à seize ans ne peuvent être occupés aux travaux proprement dits du mineur, tels que l'abatage, le forage, le boisage, etc.

« Ils ne peuvent être employés qu'au triage et au chargement du minerai, à la manœuvre et au roulage des wagonnets, à la garde et à la manœuvre des portes d'aérage, à la manœuvre des ventilateurs à bras et autres travaux accessoires n'excédant pas leurs forces.

« Les enfants employés à faire tourner les ventilateurs ne pourront y être occupés pendant plus de quatre heures, coupées par un repos d'une demi-heure au moins. »

Ce décret ne constitue pas, du reste, à lui seul, toute la réglementation, en matière de l'emploi des jeunes garçons dans les mines. Il y faut joindre celles des dispositions de la loi du 19 mai 1874 sur le travail des enfants et des filles mineures, qui présentent

térêt humanitaire, que de vouloir interdire à la jeunesse l'entrée des travaux, en réservant cette époque pour un âge complètement formé. L'enfant s'habitue insensiblement, et sans difficulté, à un genre d'occupations, qui apporterait, du jour au lendemain, un changement trop brusque dans les habitudes d'un corps absolument arrivé au terme de son développement. Le point essentiel est de graduer cette influence, et d'observer rigoureusement la juste mesure à garder vis-à-vis des forces de l'enfant. C'est le point de vue auquel s'est placé le législateur.

un caractère d'universalité, ainsi que celles des règlements généraux qui l'ont accompagnée. Il ne sera donc peut-être pas inutile de transcrire ici les dispositions suivantes du décret du 13 mai 1875.

« Art. 1er. — Il est interdit d'employer les enfants au-dessous de seize ans au graissage, au nettoyage, à la visite ou à la réparation des machines ou mécanismes en marche.

« Il est interdit de les employer aux mêmes opérations lorsque, les mécanismes étant arrêtés, les transmissions marchent encore, à moins que le débrayage ou le volant n'aient été préalablement calés.

« Art. 2. — Il est interdit d'employer des enfants au-dessous de seize ans, dans les ateliers qui mettent en jeu des machines, dont les parties dangereuses et pièces saillantes mobiles ne sont point couvertes de couvre-engrenages, ou garde-mains, ou autres organes protecteurs.

« Art. 3, 2e paragraphe. — Les enfants, depuis l'âge de douze ans jusqu'à celui de quatorze ans révolus, ne pourront être chargés sur la tête, ou sur le dos, au delà du du poids de 10 kilogrammes. Les enfants, depuis l'âge de quatorze ans jusqu'à celui de seize ans révolus, ne pourront, dans les mêmes conditions, recevoir une charge supérieure à 15 kilogrammes.

« Il est interdit de faire traîner, aux enfants de douze à seize ans, des charges exigeant des efforts supérieurs à ceux qui correspondent aux poids indiqués au paragraphe précédent.

« Art. 4. — Il est interdit d'employer les enfants au-dessous de seize ans à faire tourner des appareils en sautillant sur une pédale. Il est également interdit de les employer à tourner des roues horizontales.

« Art. 5. — Les enfants au-dessous de seize ans ne pourront être employés à tourner des roues verticales, ou utilisés comme producteurs de force motrice que pendant une durée d'une demi-journée de travail, divisée par un repos d'une demi-heure au moins.

« Art. 9. — Il est interdit de préposer des enfants au-dessous de seize ans au service des robinets à vapeur. »

On remarquera notamment que l'article 3 limite les poids bruts du roulage aux valeurs respectives $\frac{10}{m}$ et $\frac{15}{m}$, en désignant par m le coefficient de traction, qui a été déterminé (t. I, p. 675, éq. 13) sous la forme :

$$m = \frac{F}{p(1+\alpha+\beta)} = \frac{fr}{R}\frac{1+\alpha}{1+\alpha+\beta} + \frac{a}{R} - i.$$

1239. — Dans certaines exploitations, on ne travaille que pendant le jour ([1]). Dans d'autres, plus intensives, on arrive à une continuité rigoureuse, et les ouvriers se succèdent, *les outils en main*. D'autres fois encore, on les divise en deux postes, qui ne remplissent pas exactement les 24 heures.

La durée du poste peut atteindre 12 heures. Elle est souvent de 8 heures, laps de temps qui suffit à un ouvrier actif, pour développer l'activité dont il est capable chaque jour. La durée du travail quotidien se réduit à 6 heures, et même à 4 heures, pour des occupations spécialement pénibles, telles que le passage des niveaux dans les avaleresses, la lutte contre l'incendie, etc. En sens inverse, on admet, dans quelques mines, les suppléments de journée, pour les ouvriers qui désirent gagner davantage. Les heures réglementaires varient suivant les habitudes locales. Il est bon de chercher à faire en sorte que tous les hommes voient la lumière du jour. On relève souvent les postes à 6 heures du matin et à 6 heures du soir. Dans le nord de la France, le travail dure de 5 heures du matin à 3 heures du soir, et reprend de ce même moment jusqu'à 11 heures du soir. En général, la durée est, en France, de neuf heures, y compris l'entrée et la sortie. En Angleterre, les postes, de 8 à 10 heures, commencent entre 5 heures et demie et 7 heures du matin, et se terminent entre 7 et 9 heures du soir.

Dans un certain nombre d'exploitations, la nature des travaux se répartit entre deux séries, que l'on appelle coupe à charbon et coupe à terre, poste de piqueurs et poste de remblayeurs, équipe d'abatage et équipe de réparations, *working shift* et *repairing shift*. Dans le

([1]) La question du travail de nuit, pour les enfants employés dans les mines, a été très controversée. L'article 4 de la loi du 19 mai 1874 est, en effet, ainsi conçu :

« Les enfants ne pourront être employés à aucun travail de nuit jusqu'à l'âge de seize ans révolus.... Tout travail entre neuf heures du soir et cinq heures du matin est considéré comme travail de nuit. »

Néanmoins les exploitants avaient invoqué les nécessités inhérentes aux conditions des mines, en se fondant, par assimilation, sur l'esprit qui avait (article 6) dicté une exception pour les usines à feu continu. Les Cours de Lyon (16 avril 1880) et de Douai (14 juin 1881) ont admis la légalité de cette réclamation, qui a été rejetée par la Cour de cassation (12 février 1882). Depuis lors, plusieurs Compagnies houillères ont sollicité une modification aux dispositions qui ont réglementé la matière, et demandé l'autorisation d'employer les enfants pendant une partie de la nuit, qu'elles regardent comme nécessaire pour le service.

premier poste, on fait l'abatage, le boutage, le roulage du combustible; dans le second, le remblayage, le boisage, les réparations. On tend cependant, sur beaucoup de points[1], à uniformiser le travail, en rendant simultanées toutes ces opérations, ce qui permet, entre autres avantages, de faire suivre, de plus près, le front de taille par le remblai, et d'employer le roulage circulaire[2].

Le travail de nuit est évidemment plus nuisible que l'autre à l'hygiène de l'ouvrier; cependant le contraire peut être quelquefois vrai, dans une certaine mesure, en permettant de combiner les occupations agricoles, si saines pour l'organisme, avec la vie souterraine. Cette alternance, toujours utile, devient impérieusement nécessaire, quand il s'agit d'exploitations particulièrement malsaines, comme les mines d'arsenic, de cinabre, spécialement dans les quartiers où l'on recueille du mercure natif.

1240 — L'ouvrier payé à la journée produit peu, d'après la propension naturelle qui le porte à se moins fatiguer, en s'assurant précisément par là une durée d'occupation plus prolongée; de plus, le zèle, la capacité demeurent alors sans récompense, ce qui est contraire à toute équité. Cependant ce mode assure, moyennant une surveillance suffisante, une exécution soignée pour des opérations exceptionnelles, et d'une importance spéciale.

Le travail se fait donc, en général, à la tâche, mais bien des modes peuvent être employés pour sa rétribution. Le mineur est, dans certain cas, payé d'après le vide produit. C'est un principe défectueux, car les hommes sont alors moins intéressés à recueillir tout le minerai, et ils peuvent en laisser dans les remblais. Toutefois, ce système devient souvent le seul possible, au moins pour des circonstances transitoires.

On paye également le piqueur au wagon. Mais cela même exige que les chariots soient pesés sur une bascule, et non pas seulement comptés; sans quoi, l'ouvrier sera porté à exagérer, dans le chargement, le rapport du vide au plein, en enchevêtrant le gros, pour le recouvrir ensuite de menu. Il est également nécessaire d'exercer

(1) *CRM*, 1880, août; 1882, juillet; 1883, janvier.
(2) Tome I, p. 441.

une surveillance, à la lumière du jour, sur la composition des wagonnets. A défaut de ce contrôle, le mineur se trouvera intéressé à charger du schiste au milieu du charbon. Le gros et le menu peuvent aussi devenir l'objet de tarifs distincts.

Ordinairement, le travail est convenu à prix débattu, pour un emplacement et une durée compatibles avec la constance de ses conditions. Ce principe est plus favorable à l'activité de la production, puisque le piqueur, intéressé à la besogne, produira davantage. On a parfois exigé de l'entrepreneur une caution, qui ne lui est rendue qu'après l'achèvement de l'ouvrage; car sans cela, on risque de le voir tout abandonner, à la première difficulté qui se présente. Ce mode introduit, à la vérité, beaucoup de complications, pour les rapports entre la direction et l'ouvrier.

On trouve un juste milieu dans un autre type d'organisation, d'après lequel les mineurs sont syndiqués en petites sociétés, dirigées par un ouvrier-chef, qui les représente vis-à-vis de la direction, et traite en leur nom. La surveillance générale se trouve, par là, simplifiée dans une certaine mesure, et secondée par celle que le chef d'atelier est intéressé à exercer sur ses compagnons, et ces derniers les uns sur les autres. Les ouvriers s'associent alors suivant leur force, leur adresse, leurs préférences personnelles, ce qui est une garantie de bon ordre [1].

Ce système de petits syndicats trouve, en particulier, son utilité dans les mines métalliques, en excitant les ouvriers à soigner particulièrement le triage, pour ne rien abandonner de riche dans les remblais. Dans le Cornwall, on concède quelquefois un ouvrage à gradins à une compagnie de piqueurs, payée d'après la valeur du minerai lavé qu'elle produit. Des districts entiers sont exploités de cette manière, en Espagne, par des *partisans*.

A Mariemont, certains travaux du fond sont donnés en adjudication. L'entretien des voies, les réparations, l'abatage, font l'objet de marchandages entre les ingénieurs, ou les porions, et les ouvriers. On combine, avec ce système, celui de la prime. Les prix sont com-

[1] A Lens, on ne laisse jamais un mineur seul, dans une galerie écartée. Tout au moins lui donne-t-on un *galibot* de 12 à 15 ans, pour l'aider dans ses boisages, et servir de garantie, en cas d'accident personnel.

posés d'une partie fixe, et d'une autre proportionnelle aux résultats atteints. Les porions eux-mêmes sont intéressés à la bonne marche des travaux, au moyen de primes sur l'extraction.

1241 — Pour faciliter la comptabilité de ce qui revient à chacun, les chariots doivent être marqués d'un signe distinctif, qui indique leur provenance. C'est souvent une fiche métallique, portant le numéro du piqueur, et fixée par lui au wagon. Le receveur du jour détache cette fiche, et la suspend au clou qui correspond à son numéro, sur un tableau-marquoir installé à la recette. On en fait le relevé à la fin du poste.

Aux mines de Bessèges, les piqueurs reçoivent des mains du rouleur un jeton représentatif du wagon qu'ils lui remettent. Ce jeton est remplacé à ce dernier, pour fournir à un nouveau voyage, dans un bureau souterrain, où un comptable tient note de tous ceux qu'il délivre, afin d'éviter que des échanges soient effectués entre des ouvriers, auxquels cette unité est payée plus ou moins cher. Le mineur garde ainsi, par devers lui, son propre moyen de contrôle, et peut, à chaque instant, se rendre compte, à l'aide de cette monnaie provisoire, du gain qu'il a implicitement réalisé, sans attendre le jour de paye où il rend ses jetons.

Il doit toujours être tenu un carnet d'attachement des journées, relatant, d'une manière précise, leur affectation à une nature de travail déterminée, qui rentre dans l'une des catégories établies par la comptabilité générale, pour l'évaluation du prix de revient: main-d'œuvre, fournitures, frais généraux; et, d'une manière détaillée : abatage, boisage, remblai, roulage, extraction, éclairage, etc. [1]. Il en est de même en ce qui concerne les fournitures du magasin. Rien n'en sort, sans un bon de l'agent responsable du service qui réclame ces matières.

Il importe que le mode suivi pour la tenue des écritures permette d'établir, dans le plus bref délai possible, et, en général, mensuellement, les variations du prix de revient, qui restera, pour la direction, l'objet d'une préoccupation incessante. On ne perdra

[1] Voy. les exemples nombreux de prix de revient, qui ont été cités au tome I, pages 582 à 600.

pas de vue, d'ailleurs, que l'objectif qu'il s'agit d'atteindre, n'est pas précisément le minimum de ce prix de revient, ni le maximum du prix de vente, mais celui de leur différence. Les dépenses de premier établissement et l'amortissement y pèsent, ou s'en détachent, d'une manière un peu arbitraire, pour laquelle il importe de se montrer très réservé. Ce dernier doit, dans tous les cas, être effectué pendant le cours de la période d'emploi des divers ouvrages, et la valeur d'inventaire de ces derniers, supputée, sauf exceptions motivées, sur le pied de la ferraille pour les machines, des matériaux de démolition pour les constructions, de l'hypothèse de liquidation pour les terrains, etc. (1), afin de ne pas éprouver de mécomptes.

§ 2

STATISTIQUE

1242 — Le nombre d'ouvriers employés dans les mines ou minières de France et d'Algérie, pour l'année 1880, est indiqué dans le tableau suivant (2).

(1) Callon, *Cours d'exploitation des mines*, III, 191.
(2) Statistique minérale, 45.

LIEUX DE PRODUCTION	SUBSTANCES	EXTRACTION — Tonnes	VALEUR — Francs	NOMBRE DE MINES	NOMBRE D'OUVRIERS INTÉRIEUR	NOMBRE D'OUVRIERS EXTÉRIEUR	NOMBRE D'OUVRIERS TOTAL
FRANCE	Houille, anthracite	18 804 767	241 275 197	275	73 692	30 229	103 921
	Lignite	556 797	5 411 946	61	2 462	853	3 315
	Tourbe	248 122	2 754 839	133	»	28 669	28 669
	Produits bitumineux	144 022	1 022 748	24	475	188	663
	Mines et minières de fer	2 874 263	14 908 557	284	4 828	3 216	8 044
	Pyrites de fer et de métaux	177 932	6 635 694	61	2 870	2 043	4 913
	Sel gemme (1)	332 474	11 813 773	19	185	70	255
	Total pour la France	*23 138 377*	*283 822 754*	*857*	*84 512*	*65 268*	*149 780*
ALGÉRIE	Minerais de fer	614 146	6 778 508	15	543	2 370	2 913
	Minerais métalliques	15 383	1 506 579	11	485	503	988
	Sel gemme (2)	367 402	6 718 758	1	»	144	144
	Total pour l'Algérie	*996 931*	*15 003 445*	*27*	*1 028*	*3 017*	*4 045*
	TOTAL GÉNÉRAL	**24 135 308**	**298 826 199**	**884**	**85 540**	**68285**	**153 825**

(1) Y compris les trous de sonde et les sources salées, mais non compris 367 000 tonnes de sel des marais salants, valant 6 719 000 francs, et occupant, dans 422 centres, 8 800 ouvriers.

(2) Non compris 19000 tonnes, valant 420000 francs, et occupant, sur 16 lacs salés, 140 ouvriers.

En Angleterre, on a enregistré [1], pendant la période décennale 1873-1882, les résultats suivants [2], restreints aux mines de houille, de minerai de fer houiller, d'argile réfractaire, et de schiste, à l'exclusion des mines métalliques [3].

ANNÉES	NOMBRE DE MINES	PERSONNEL	TONNAGE — Tonnes anglaises	RENDEMENT — Tonnes angl.
1873	3 938	514 429	143 041 246	278
1874	4 332	538 829	140 713 832	261
1875	4 501	535 845	147 700 313	276
1876	4 385	514 532	148 989 385	289
1877	4 231	494 391	148 846 260	301
1878	3 968	475 329	145 798 138	307
1879	3 956	476 810	145 366 369	305
1880	3 904	484 933	161 466 793	333
1881	3 847	495 477	168 959 931	341
1882	3 814	503 987	171 334 032	340

La marche croissante du rendement mérite de frapper l'attention [4]. Depuis l'époque de prospérité exceptionnelle de 1873, les mines les moins favorables ont été fermées, la diminution des salaires a stimulé le travail de l'ouvrier, et une certaine sélection s'est opérée spontanément, en éliminant les bras les moins habiles. On en trouve la preuve dans le tableau suivant, qui accuse une diminution marquée dans la proportion des enfants employés sur les exploitations :

(1) *Annales*, 8e, IV, 611, Bulletin.
(2) Exprimés en tonnes anglaises de 1016kg,048.
(3) De fer, cuivre, plomb, étain, zinc, etc.
(4) On peut rapprocher ces résultats statistiques de ceux que nous avons déjà présentés (t. I, p. 570 et suiv.).

DÉSIGNATIONS		Année 1873	Année 1882
TRAVAIL SOUTERRAIN.	Garçons de 10 à 12 ans	1 202	380
	— de 12 à 13 ans	11 300	3 584
	— de 13 à 16 ans	45 931	36 914
	— au-dessus de 16 ans	349 366	365 314
TRAVAIL A CIEL OUVERT.	Garçons de 10 à 13 ans	2 070	401
	— de 13 à 16 ans	6 937	8 066
	— au-dessus de 16 ans	91 110	84 586
	Filles de 10 à 13 ans	31	1
	— de 13 à 16 ans	790	307
	— au-dessus de 16 ans	5 383	4 344
Total		514 140	503 987

La proportion des travailleurs du fond, au-dessus de 16 ans, s'est élevée, dans l'espace de ces dix années, de 85,5 à 90 %.

La Belgique ([1]), en 1882, occupait 78 806 personnes dans ses charbonnages, et, à la surface, 24 895, c'est-à-dire en tout, 103 701. La proportion des femmes est de 10,3 % sur ce total (elle en formait 13,9 % vingt ans auparavant). Le salaire annuel moyen atteint 931 francs. L'extraction s'est élevée au chiffre de 17 590 989 tonnes, et le prix moyen de vente à celui de 10 francs. 300 sièges d'exploitation y ont contribué, avec une force totale de 116 444 chevaux ([2]), et une puissance moyenne de $0^{m},64$ pour les couches exploitées.

([1]) *Rapport de la Commission belge du grisou*, 226 à 230. — Rapport de M. Berchen, ingénieur principal des mines, sur l'industrie charbonnière, IV, 457. — E. Harzé. Statistique des mines, minières, carrières, usines métallurgiques et appareils à vapeur, pour l'année 1882 (*Annales des travaux publics de Belgique*).

([2]) Cette force est répartie de la manière suivante :

SERVICES	MOTEURS	FORCE EN CHEVAUX
Extraction	457	57 833
Épuisement	194	32 265
Aérage	384	15 119
Divers	925	11 227
Totaux	1 960	116 444

1243 — En 1880, le salaire moyen a été, dans les houillères françaises, de 1040 francs par an. Si l'on rapproche ce chiffre de celui du rendement annuel, à savoir 180 tonnes et demie par personne du jour et du fond, et 254 tonnes par homme de l'intérieur, on trouve 5f,76 de main-d'œuvre par tonne [1], tandis que le prix de revient moyen, pour cette dernière, a été de 10f,88 et son prix de vente 12f,83 [2].

Les variations de salaire, suivant la nature des occupations, pourront être appréciées à l'aide du tableau suivant, relatif aux mines de la Grand'Combe, pour une durée de 10 heures de travail par jour [3] :

CATÉGORIES	NOMBRE	SALAIRES	
		MINIMUM	MAXIMUM
		francs	francs
Mineurs.	1 800	3,25	8,00
Manœuvres.	400	2,00	4,00
Lavage.	400	1,50	4,00
Chargement	390	1,50	3,50
Roulage	280	1,75	5,00
Ateliers	140	2,50	5,00
Agglomération	140	1,50	3,50
Boisage	92	3,00	5,00
Machines.	70	2,50	4,00
Carbonisation	65	1,75	4,00
Charretage.	51	2,50	3.75
TOTAL.	3 846	1,50	8,00

Le salaire varie également avec le temps, et je citerai, comme exemple, la marche qu'il a suivie dans les mines de Lens [4] :

(1) *Statistique minérale*, 22.
(2) *Bénéfices des houillères françaises en* 1880, in-12. Lithographié. Douai, 1882, n° 91.
(3) De Ruolz. Mission en France et en Angleterre pour la question des houilles, II, 509.
(4) Dans la houillère domaniale de König (haute Silésie), de 1863 à 1874, le salaire des mineurs a été augmenté de 122 0/0, et celui des rouleurs, de 124 0/0 (Zeiller, *Annales*, 7e, IX, Bulletin, 18). Inversement il baisse, lorsque le prix de vente traverse des temps critiques. — *Die Einrichtungen zum Besten der Arbeiter auf den Bergwerken Preussens.* Berlin, 1875).

ANNÉES	OUVRIERS À LA VEINE	OUVRIERS DU FOND ET DU JOUR	ANNÉES	OUVRIERS À LA VEINE	OUVRIERS DU FOND ET DU JOUR
	francs	francs		francs	francs
1859	3,87	2,75	1866	3,86	2,71
1860	3,89	2,88	1867	4,09	2,97
1861	3,80	2,64	1868	»	»
1862	3,65	2,60	1869	4,01	3,11
1863	3,57	2,55	1870	4,02	3,10
1864	3,48	2,61	1871	4,20	3,25
1865	3,49	2,61	1872	4,76	3,54

1244 — Pour donner une idée de la répartition du personnel, d'après la division du travail, j'indiquerai l'organisation de la Société des mines de Lens pendant l'exercice 1882-83 :

1° *Fond.*

Chefs porions	8
Porions	27
Surveillants	29
Ouvriers à la veine	1155
Aides à la veine	9
Ouvriers aux crains	19
Aides aux crains	2
Meneurs de bois aux tailles	25
Reculeurs de charbon	2
Coupeurs de mur	187
Aides-coupeurs de mur	37
Ouvriers d'avaleresse	40
Aides d'avaleresse	23
Calfateurs	8
Bowetteurs (¹)	85
Aides-bowetteurs	41
Raucheurs (²)	93
Raccommodeurs	117
Aides-raucheurs et raccommodeurs	62
Galibots (³)	50
Cantonniers	37
Poseurs de rails	34
Aides-poseurs de rails	8
Chargeurs aux cages	24
Avanceurs aux puits	29
Chargeurs aux tailles	227
Hiercheurs aux charbons (⁴)	386
Pousseurs	16
Accrocheurs aux plans inclinés	53
Freineurs	37
Portiers	22
Gardes d'écurie	9
Conducteurs de chevaux	54
Machinistes	7
Gardes-trains	56
Hiercheurs à terres	75
Remblayeurs	92
Maçons	39
Aides-maçons	7
Moulineurs	5
Boute-feu	10
Divers	23
TOTAL	3 269

(¹) Mineurs employés au percement des travers-bancs.
(²) Mineurs employés à dresser la section des galeries.
(³) Aides-boiseurs de 12 à 15 ans.
(⁴) Jeunes rouleurs.

2° Carreau.

Chefs de carreau	6	Brouetteurs de bois	6
Marqueurs	4	Gardes de nuit	4
Magasiniers	6	Forgerons	11
Basculeurs	6	Aides-forgerons	8
Délivreurs d'acquits	4	Charpentiers	16
Machinistes	30	Aides-charpentiers	3
Graisseurs	6	Manœuvres	29
Chauffeurs	21	Chargeurs de wagons	14
Aides-chauffeurs	11	Mesureurs	3
Moulineurs	52	Ramasseurs de pierres	156
Avanceurs	14	Passeurs de cendres	7
Lampistes	18	Divers	18
Distributeurs de poudre	4		
Commissionnaires	5	TOTAL	472
Scieurs de bois	10		

3° Ateliers.

Chef et sous-chef d'atelier	2	Menuisiers	14
Employés aux écritures	4	Charrons	2
Ajusteurs	23	Tourneurs	2
Tourneurs	10	Scieurs	4
Forgerons	15	Aides-scieurs	3
Aides-forgerons	14	Chauffeurs	2
Chaudronniers	6	Divers	25
Aides-chaudronniers	3		
Lampistes, ferblantiers	3	TOTAL	136
Maréchal-ferrant	1		
Charpentiers	3		

4° Magasin.

Garde et sous-gardes magasins	3	Divers	3
Garçons de magasin	10	TOTAL	17
Distributeurs de poudre	1		

1° Fond (suivant le détail ci-dessus)	3 269
2° Carreau (suivant le détail ci-dessus)	472
3° Atelier (suivant le détail ci-dessus)	136
4° Magasin (suivant le détail ci-dessus)	17
5° Équipages	11
6° Chemin de fer	243
7° Rivage	52
8° Constructions	68
9° Sondages	4
10° Employés	44
TOTAL GÉNÉRAL	4 316

§ 3

RÈGLEMENT

1245 — Le fonctionnement d'un organisme aussi compliqué que celui d'une mine, ne saurait s'effectuer qu'à l'aide d'une réglementation nette et précise, appliquée avec fermeté et sans défaillance [1]. Les mesures à observer sont de deux sortes. Les unes ne concernent que la direction elle-même, tant pour le sage aménagement des ressources du gisement, que pour la sécurité du personnel. Mais ces deux points de vue nous ont occupés à diverses reprises, et il n'y a pas lieu d'y revenir en ce moment. Un second ordre de dispositions règle les devoirs du personnel, aux divers degrés de la hiérarchie et c'est d'elles qu'il convient de dire quelques mots.

Toute Société minière est libre d'édicter chez elle les mesures qu'elle juge convenables, pourvu qu'elles ne soient, en rien, contraires à l'ordre public, ni aux lois et règlements du pays. L'ouvrier est mis à même de prendre connaissance de ces dispositions. Une fois qu'il est entré au service de la Compagnie, il doit s'y conformer, et reste passible des punitions, amendes, etc. qui s'y trouvent formulées.

On a cherché, toutefois, une garantie plus haute, et quelques règlements de mines ont été soumis à l'homologation préfectorale, formalité qui les assimile aux actes de l'autorité publique, et leur assure la sanction des tribunaux, à la diligence du parquet. Il est, en effet, de la plus élémentaire justice, que des contraventions d'une nature aussi spéciale, et d'une immense gravité (puisque la vie de tous dépend souvent de l'imprudence d'un seul), soient passibles, de la part du pouvoir, de répressions semblables à celles qui sont destinées à protéger, en toutes circonstances, l'existence des citoyens. Or, de telles dispositions trouveraient difficilement leur

[1] Du Souich. Rapport sur la réglementation dans les mines à grisou (*Annales*, 7e, XIX, Bulletin, 151). — *Principes à consulter* dans l'exploitation des mines à grisou, préparés par la Commission d'études des moyens propres à prévenir les explosions de grisou dans les houillères, in-8°, Paris, 1881.

place dans une loi générale ; si l'on réfléchit surtout à la complète diversité des conditions où se trouvent placés les différents gites; de telle sorte que les actes les plus inoffensifs en un point, peuvent devenir éminemment dangereux sur d'autres. Il convient donc de laisser les Compagnies étudier, de concert avec l'Administration des mines, les mesures qui conviennent pour chaque exploitation en particulier, en suivant la procédure qui vient d'être indiquée.

Le règlement ne doit rien omettre d'essentiel, et, en même temps, ne rien renfermer d'inutile. Il doit être clairement rédigé, affiché dans les principaux lieux de passage, et, surtout, de stationnement des ouvriers. Beaucoup de Compagnies le font imprimer sous forme de livret, dont elles remettent un exemplaire à chaque employé.

On ne peut que louer certains directeurs, qui ont pris l'initiative d'organiser des conférences, destinées à expliquer à leur personnel la lettre, et surtout l'esprit de ces dispositions. On arrive ainsi à faire comprendre aux ouvriers des dangers qu'ils ignorent, ou qu'ils méconnaissent, et qui motivent des mesures fatigantes pour eux, et, en apparence, inutiles, qu'ils ne sont que trop tentés d'esquiver.

Parmi les mesures d'ordre que les Compagnies sont amenées à prendre, la plupart concernent des dispositions techniques que nous avons eu occasion d'indiquer, dans la description des diverses branches du service, et sur lesquelles il n'y a pas lieu de revenir en ce moment. D'autres se rapportent plus spécialement aux actes de l'ouvrier lui-même. J'en donnerai une idée, en empruntant, aux règlements de diverses Sociétés, quelques-uns de ces articles.

1246 — Dans les mines grisouteuses, il est rigoureusement interdit au mineur de porter sur lui du tabac, des allumettes, des clefs propres à ouvrir les lampes. Si l'odeur de la pipe se manifeste dans un chantier, tout l'atelier est mis à l'amende, à moins que les coupables ne soient reconnus.

Quand le grisou envahit un chantier, l'ouvrier doit se retirer de lui-même, sans concevoir pour cela d'inquiétude pour le prix de sa journée, qui lui est acquis, lors même que le maître mineur ne pourrait, sans perte de temps, l'employer sur un autre point.

Lorsque plusieurs types de lampe sont autorisés dans l'intérieur d'une mine, en raison des différences que présentent ses diverses parties, au point de vue du grisou, un surveillant, placé sur les limites des régions affectées à chacune d'elles, empêchera que les lampes prohibées dans l'un de ces quartiers y puissent pénétrer.

Des écriteaux très visibles signalent les quartiers suspects par les mots : DANGER, ou : MINE A GRISOU. En Angleterre, le *board* en fonte émaillée s'installe au devant d'une sorte de trémie en planches, qui ne permet que le passage du wagon, et qu'il est impossible de ne pas remarquer. On place aussi, en ces points, un feu rouge, analogue à ceux des signaux de chemins de fer.

Si l'emplacement devient actuellement dangereux, l'accès en doit être barré, à l'instant même, par deux bois en croix, et, dans le plus bref délai possible, par une fermeture effective et efficace.

Dans les mines sujettes à des dégagements instantanés, on prendra, au jour, les précautions nécessaires pour empêcher que le grisou, s'il vient à sortir par un orifice, y puisse rencontrer un feu nu, lampe ou foyer. En ce qui concerne les premières, nous avons signalé (n° 1140) les réverbères de sûreté, dont on peut alors se servir. On essaye également de remplacer, par des cylindres chauffés à la vapeur, les brasiers au coke destinés à réchauffer les hommes. Quant aux foyers des chaudières, il est impossible de les enfermer, mais on peut, du moins, les tenir en dehors des bâtiments, à une distance suffisante, et les protéger par un mur élevé contre les dégagements du puits.

Les maîtres mineurs doivent faire l'éducation des nouvelles recrues, en leur démontrant les propriétés des lampes de sûreté. Ils leur signalent les inconvénients de la vitesse, d'autant plus redoutables que la flamme sera plus dilatée par la présence du grisou, leur recommandant de tenir les feux bas dans les chantiers, et loin du front de taille, de ne pas agiter de vêtements dans le voisinage, de porter la lampe à la longueur du bras sans la balancer, de l'accrocher solidement aux parois, pour qu'elle ne puisse tomber, ni être heurtée par les outils; de noyer la mèche dans l'huile, si le feu tend à remplir le tamis, et, si cela ne suffit pas, d'étouffer la flamme par la privation d'air, ou avec de l'eau. *Sous aucun*

prétexte on ne doit souffler pour l'éteindre, comme un instinct mal inspiré pourrait porter à le faire. En pareil cas, les hommes se retirent à tâtons, avec calme, et en bon ordre [1]. Si la teneur en grisou devient telle qu'elle provoque une gêne de la respiration, ils se courberont, ils chercheront, à la partie inférieure des galeries, les couches les plus pures.

1247 — Le mineur est responsable de la lampe et des outils qui lui sont confiés. Quand il les dégrade, il paye leur remise en état; s'il les égare, il en restitue la valeur.

Les dégradations commises par malveillance reconnue, sont soldées au double de leur valeur. Une moitié est retenue pour la réparation, et l'autre versée à la caisse de secours.

Des amendes sont infligées à l'ouvrier qui s'absente du travail sans autorisation, arrive en retard, insulte ses chefs, empêche le travail de ses camarades, ou se porte sur eux à des voies de fait; à celui qui remblaye du menu, ou boute du charbon malpropre.

L'entrée de la mine est interdite à tout homme en état d'ivresse.

L'ouvrier doit se rendre à son poste de travail par le chemin le plus court, ou par celui qui lui est désigné, et s'abstenir de circuler au hasard dans la mine.

Aucune personne ne peut pénétrer dans les travaux, sans être munie d'une autorisation de la direction, et accompagnée par un employé.

L'entrée des galeries qui débouchent au jour, est gardée par un stationnaire, si le service exige qu'elle soit maintenue ouverte. Dans le cas contraire, elle est barrée au moyen d'un mode de fermeture efficace pour le dehors, mais susceptible de s'ouvrir par l'intérieur, de manière à permettre aux hommes de s'échapper, en cas d'accident.

Quiconque reconnaît une infraction actuelle, de nature à compromettre la sécurité, doit immédiatement la porter à la connaissance de ses chefs.

[1] On avait proposé d'avoir, dans chaque chantier, pour un cas semblable, une lampe renfermant des fils de platine qui, une fois rougis par la flamme, continueraient, après son extinction, à provoquer une oxydation lente du grisou, entretenant leur température, et s'accompagnant d'une certaine lueur.

§ 4

INSTITUTIONS OUVRIÈRES

1248 — Les mines sont souvent situées dans des localités privées de ressources. Les Compagnies se trouvent, dès l'abord, appelées à y pourvoir dans la mesure du nécessaire. Il n'est que juste d'ajouter que, bien loin de s'arrêter sur cette limite, elles ont mérité, presque toujours, les plus grands éloges, pour la largeur et la sollicitude avec lesquelles elles se sont acquittées de ces soins, en vue d'améliorer le sort de l'ouvrier. A cet égard, nous distinguerons trois sortes de créations : les institutions matérielles, morales, ou économiques.

Institutions matérielles. — Le point le plus indispensable est celui de l'habitation ([1]). Les solutions se rattachent à deux types distincts([2]). Tantôt on construit un ou plusieurs bâtiments, d'une longueur indéfinie, alignés parallèlement, et fractionnés en logements individuels pour chaque famille. On les appelle *corons*, ou *casernes*. Ils forment autant de rues, avec une petite cour devant la façade, et, par derrière, un jardin d'une longueur quelconque perpendiculaire à la rue. Tantôt on préfère, non par économie, car le résultat est opposé, mais pour satisfaire aux goûts de l'ouvrier, de petites maisons, isolées chacune au milieu d'un jardin,

([1]) Vuillemin. Enquête sur les habitations, les écoles, etc., des mines du Nord et du Pas-de-Calais (*Bull. min.*, 2e, I, 279). — Simonin. Les cités ouvrières des houilleurs dans les mines du centre de la France (*Rev. univ. d. m. et u.*, 1re, XX, 221). — Maisons ouvrières des mines de Nœux (*Annales* industrielles, 1882, n° 2). — Muller et Cacheux. Les habitations ouvrières en tous pays (mines d'Angers, Béthune, Blanzy, Creusot, Lens, Grand-Hornu, Seraing, Badersdorff, Rhein Elbe, Hasenwinckel). Paris, chez Baudry. — F. Bollaert. Les institutions ouvrières, aux charbonnages de Mariemont et de Bascoup. Lille, 1884. — Mony. *Étude sur le travail*, Paris, Hachette, 2e édit., 1882. — Chansselle. Institutions de la Westphalie en faveur des ouvriers mineurs (*Bull. min.*, 2e, VII, 804). — Bresson. Notice sur les institutions en faveur du personnel créées par la Société Autrichienne des chemins de fer de l'État, 1878, in-8°. — Laugel (*Annales*, 5e, V, lois et décrets, 299). — *Die Einrichtungen zum Besten der Arbeiter auf den Bergwerken Preussens*, Berlin, 1875 (Zeiller, *Annales*, 7e, IX, Bulletin, 17).

([2]) A Lens, on a, *par centaine de maisons :* 513 habitants, dont 157 ouvriers, produisant 51 423 tonnes de charbon. La Société possédait, en 1883, un total de 1700 maisons.

et affectées, soit à une seule famille, soit, au plus, à deux ménages, séparés par une cloison médiane et sans aucune communication (fig. 723 à 726).

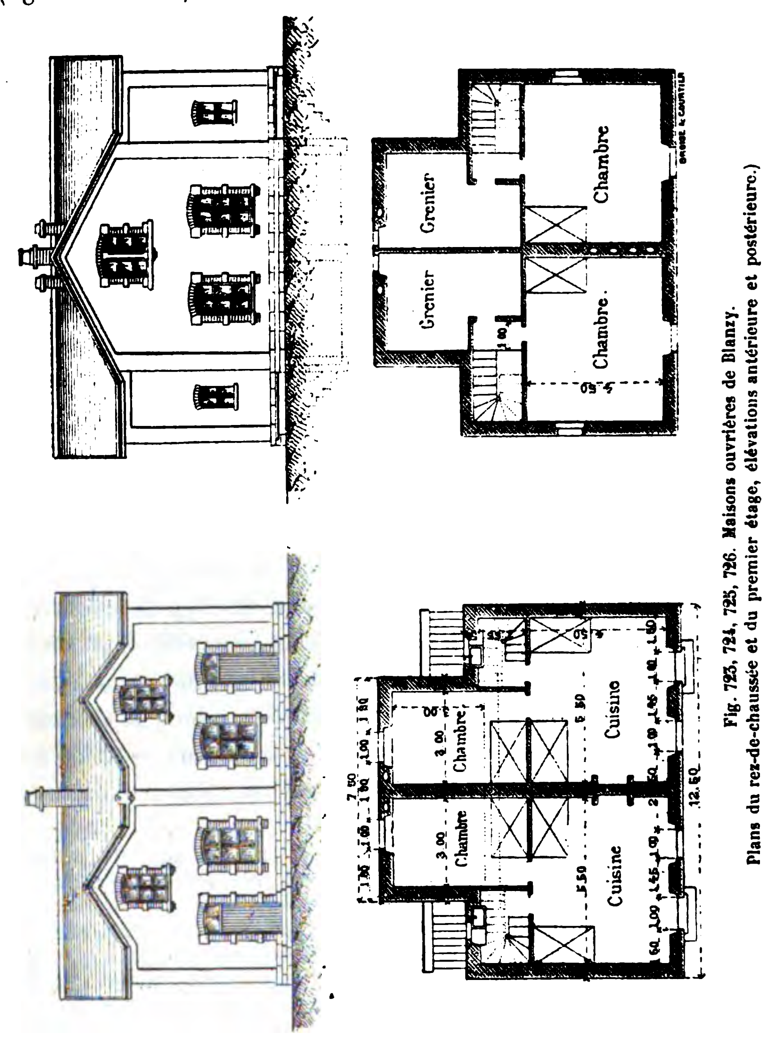


Fig. 723, 724, 725, 726. Maisons ouvrières de Blanzy.
Plans du rez-de-chaussée et du premier étage, élévations antérieure et postérieure.)

Des aménagements d'ensemble fournissent l'eau et le gaz. En outre, les Compagnies houillères affectent à chacun un certain affouage en charbon [1]. La Société perçoit, pour ses logements, un

[1] 120 kilogrammes par semaine en hiver, 80 en été.

loyer, ordinairement illusoire, de 4 à 6 francs par mois et par maison. Cette considération n'a d'ailleurs qu'une importance secondaire, car elle se réduit, en dernière analyse, à une appréciation d'ensemble, par le mineur, des avantages qui lui sont offerts par la Compagnie, et, pour celle-ci, des débours dont il est pour elle l'occasion. L'ouvrier préfère, en général, cette combinaison. Il se sent, en quelque sorte, mieux chez lui, quand il a payé son loyer. Des primes sont attribuées aux ménages qui sont tenus avec le plus d'ordre et de propreté. L'intérieur est repeint tous les cinq ans, à Mariemont; l'extérieur, badigeonné à la chaux chaque année. Des étables, des buanderies, des fours à pain, sont rattachés aux divers groupes de maisons.

L'organisation de trains spéciaux sur les voies ferrées des Sociétés houillères, avec leur propre matériel ou celui des grandes Compagnies, peut permettre de disséminer les centres de population à quelque distance des puits, de manière à économiser des constructions coûteuses, en se servant d'agglomération déjà existantes.

1249 — Certaines mines, comme le Hasard (Liège) (¹), Tharsis (Huelva), ont créé pour l'ouvrier célibataire, qui ne trouve chez lui, au sortir de la mine, aucune des nécessités de l'existence, des hôtels garnis, où tout lui est fourni dans des conditions très économiques. En Allemagne (²), on a institué des maisons-dortoirs (Schlafhaüser), dans lesquelles le mineur est défrayé pendant la semaine, retournant ensuite, à quelque distance, passer le dimanche dans sa famille.

Beaucoup de Compagnies organisent des cantines, limitées à ce qui concerne la nourriture, afin de ne pas dégénérer en cafés, ou cabarets. L'ouvrier y trouve une certaine économie, et des garanties sérieuses pour son hygiène. On a aussi créé des boulangeries, qui livrent le pain au prix le plus réduit que permette d'atteindre la panification en grand.

(¹) Installations ouvrières du charbonnage du Hasard (*Rev. univ. d. m. et u.*, XXXIII, 198).

(²) Dans les mines de Langenbogen, Rudersdorf, Sarrebruck, Stassfurth, etc.

1250 — Le bain est indispensable pour le mineur, qui sort des chantiers couvert de sueur et de charbon, avec des vêtements trempés par la transpiration et les infiltrations des puits. L'ouvrier marié le trouve souvent chez lui, s'il demeure à peu de distance. Cependant certaines Compagnies le fournissent à tous indistinctement, sur le carreau du puits ([1]).

De longues baignoires sont disposées avec un jeu de robinets, sous lesquels l'ouvrier se lave, et trouve même une installation hydrothérapique, élémentaire mais bienfaisante. Ces bassins ont $1^m,60$ de large, et une longueur indéfinie, sur laquelle il convient d'attribuer à chacun $0^m,60$. Le mineur y reste cinq minutes, de sorte que ce même emplacement peut servir à un certain nombre, pendant la durée du trait des hommes.

Le baigneur laisse ses habits mouillés, et en trouve de secs. Du jour au lendemain, un service de blanchissage, muni d'essoreuses, étuves, etc., nettoie ces vêtements, pour que l'ouvrier puisse les reprendre. Le vestiaire, bien que contigu à la salle de bains, en doit être séparé assez nettement, pour que la buée ne puisse imprégner les objets qui s'y trouvent conservés. Une certaine aération de cette dernière salle est nécessaire afin d'éliminer la vapeur, tout en évitant les courants d'air. La température variera, suivant la saison, de 15 à 18 degrés pour l'air, de 28 à 35 degrés pour l'eau. Les bassins sont lavés à fond, après le passage de chaque poste.

1251 — L'hôpital, et les soins médicaux, constituent une nécessité de premier ordre, pour une population exposée à tant de dangers. Les Compagnies y pourvoient par la construction d'un édifice approprié, et l'organisation d'un matériel de secours et de transport, d'une pharmacie, et d'un service de médecins ordinaires; dépassant en cela, de beaucoup, les obligations qui leur sont imposées, à cet égard, par les articles 15 et 16 du décret du 3 janvier 1813. Plusieurs de ces docteurs ont publié, dans divers

([1]) Dans la seule année 1874, on a construit 52 établissements de bains, sur les puits du district de Dortmund.

opuscules [1], les observations qu'il leur avait été donné de faire, dans le service spécial auquel ils se sont consacrés.

La question de l'assistance médicale se relie d'ailleurs étroitetement à celle de la caisse de secours, dont nous parlerons plus loin.

1252 — *Institutions morales.* — Lorsque les régions minières ne présentent pas d'édifices religieux, à proximité des centres d'exploitation, les grandes Compagnies n'ont jamais manqué d'en élever à leurs frais : églises catholiques ou temples protestants.

(1) Dr Barella. Anémie des houilleurs (*Revue des questions scientifiques de la Société de Bruxelles*, 1881, p. 337).

Dr Bauzon (de Blanzy). Rapport sur l'accident de Montceau-les-Mines, 1872.

Dr Bourguet (de Graissessac). Brûlure par le grisou et accidents produits par son explosion, 1876. — Explosion de grisou du puits Sainte-Barbe, 1877.

Dr Bugmois. Monographie de l'ankylostome. Lausanne.

Dr Dransart (d'Aniche). De l'anémie chez les mineurs (*Bulletin de l'association française pour le progrès des sciences.* Congrès de 1882, p. 697).

Dr Dujol (de Saint-Étienne). Appareil pour le transport des blessés dans les mines (*CRM*, 1883, 244).

Dr Fabre (de Commentry). Anoxhémie des houilleurs (*Revue des Sociétés savantes*, Congrès du 16 avril 1879). — Du rôle des ankylostomes dans la pathologie des mineurs (*Bull. min.*, 2e, XI, 801. — *CRM*, 1882, juillet, 31). — Des eaux dans les travaux de mine, au point de vue de l'hygiène professionnelle (*CRM*, 1883, 139). — Rôle des poussières charbonneuses dans la pathologie des mineurs (*CRM*, 1882, 98). — Conditions hygiéniques des houilleurs (*Revue des Sociétés savantes*, 3e, I, 195). — Influence du travail souterrain sur la santé des mineurs (*CRM*, 1878, 235).

Dr Giaccone. *Le gallerie a foro cieco e la malattia dei minatori.* Turin, 1882.

Dr Herpin. Instruction sur les premiers soins à donner aux asphyxiés par l'acide carbonique, 1864, in-12.

Dr Ludwig Hirt. *Die Krankeiten der Arbeiter*, Leipzick, 1873.

Dr Kuhorn, *Études sur les maladies particulières aux ouvriers mineurs*, Paris, 1863.

Dr Lombard. *La maladie des mineurs employés au percement du tunnel du Saint-Gothard*, Genève, 1880.

Dr Manouvriez (d'Anzin). *De l'anémie des mineurs*, Paris, 1878. — *CRM*, 1878, 148, 227. — Maladie et hygiène des ouvriers travaillant à la fabrication des agglomérés de houille et de brai. 1876, in-8°.

Dr Perroncito. L'ankylostome duodénal de Dubini et la maladie des mineurs (*Comptes rendus de l'Académie des sciences*, XCIV, 29).

Dr Riembaut (de Saint-Étienne). *Appareil de transport des blessés.* Saint-Étienne, 1880, in-8°. — Anémie des mineurs (*CRM*, 1878, 148). — *Hygiène des ouvriers mineurs dans les exploitations houillères*, Paris, 1861.

Dr Sonderegger. Rapport officiel sur l'état sanitaire des ouvriers du Saint-Gothard (*Correspondenz-Blatt für Schw. aerzte Jahrg.*, X, 1880).

Die Sogenannte Tunnelkrankeit (*Œsterreichische Zeitschrift f. B. u. H.* 1881, 416).

Plusieurs l'ont fait avec un luxe dont les populations se montrent justement fières.

L'école a toujours été aussi une des premières préoccupations des Sociétés de mine. Écoles de garçons et écoles de filles, écoles d'adultes, écoles maternelles, ouvroirs, crèches, salles d'asile, sont établis avec une sollicitude attentive; et partout d'aussi louables efforts ont été largement récompensés par les résultats obtenus. Certaines Compagnies font une condition absolue, pour l'admission du jeune mineur, qu'il soit capable d'écrire sa demande, séance tenante, et d'une manière satisfaisante. A côté des écoles primaires, on a institué des écoles professionnelles, pour les ouvriers ou les contremaîtres désireux d'acquérir un supplément d'instruction (1).

Des bibliothèques instructives ont été créées pour les ouvriers, et mises à leur disposition; prêtant des livres à domicile, ou fournissant des salles de lecture chauffées et éclairées, qui enlèvent aux cafés et aux cabarets de nombreuses recrues. On a institué aussi des collections techniques, pour l'instruction du personnel. Des journaux ont été fondés, tels que l'*Ami du Mineur* (der Bergmannsfreund), journal hebdomadaire de Sarrebruck; ainsi que des publications de diverses natures, comme l'*Almanach du Mineur* (Bergmannskalender). Des conférences sont faites aux ouvriers, non seulement sur les questions techniques de leur profession, mais sur des sujets intéressants de toutes sortes.

Des orphéons, des fanfares sont constitués par quelques Compagnies, qui en font tous les frais. Certaines Sociétés, et l'État, en Allemagne, pour ses mines domaniales, organisent des fêtes spéciales pour les mineurs, ou contribuent, par un concours pécuniaire, à la fête de la Sainte-Barbe.

1253 — *Institutions économiques.* — Les Compagnies minières ont créé un grand nombre de rouages économiques, pour l'utilité de leurs ouvriers (2).

(1) Ces écoles sont nombreuses en Prusse. On en voit à Bochum, Dillenburg, Eisleben, Essen, Klausthal, Oberkirchen, Sarrebruck, Siegen, Tarnowitz, Waldenburg, etc.

(2) Alayrac, Société de coopération des mines de Courrières (*Bull. min.*, 2e, I, 355). —

La *Société coopérative* est un organisme commercial, destiné à procurer au mineur la vie au meilleur marché possible, en le faisant profiter des économies réalisées au moyen de l'achat en grandes quantités, et des relations étendues, que ne comporte pas, au même degré, le petit commerce. La Société coopérative les met à son service, en lui revendant toutes choses au prix coûtant, et sans bénéfice. Tout se trouve dans ces magasins : alimentation, vêtement, ameublement, etc. Dès qu'un courant suffisant de demandes s'établit sur un article non prévu jusqu'alors, il devient une branche d'opérations de la Société. La qualité des denrées est tellement bonne, en général, et le prix si réduit, que les ingénieurs s'y fournissent souvent, en même temps que l'ouvrier. On est même obligé d'imposer une limite à la quantité que chacun a le droit d'acheter sur ces divers articles, pour éviter que ces matières ne deviennent le point de départ d'un commerce de revendeur aux étrangers. Certaines Sociétés, au contraire, vendent au public, mais au comptant. L'ouvrier seul obtient crédit. On opère alors d'après les cours généraux, de manière à réaliser un bénéfice, qui est distribué, en fin d'exercice, aux mineurs, proportionnellement aux sommes dépensées par chacun d'eux en achats de marchandises.

La *Caisse de secours*, dont l'idée remonte jusqu'au règne de Henri IV, fonctionne à l'aide d'une retenue obligatoire sur la paye, qui est ordinairement de 2 à 4 pour 100, et à laquelle la Compagnie ajoute ordinairement, à titre gracieux, une somme égale prélevée sur ses bénéfices.

Dupont. Caisses de secours des mines (*Comptes rendus de l'Académie des sciences morales et politiques*). — Salomon. Caisses de secours et de prévoyance des ouvriers mineurs en Europe (*Mémoires de la Société des ingénieurs civils*. Janvier 1878, 79). — Couriot. Caisses de secours (*Mémoires de la Société des ingénieurs civils*, mars 1884, 352). — Caisses de secours (*Génie civil*, III, 17, 448). — Vuillemin. Caisse commune de prévoyance et caisse particulière de secours du Couchant de Mons (*Bull. min.*, 2e, I, 331). — Vuillemin. Institutions de secours et de prévoyance créées en faveur des ouvriers mineurs par les Compagnies houillères du Nord de la France, 1883. — Note sur les institutions fondées par la Compagnie houillère de Bessèges en faveur de ses ouvriers et employés, 1884. — La mine au mineur (*Génie civil*, III, 595). — Les ouvriers mineurs devant la Chambre des Députés (*Génie civil*, IV, 41). — Leplay. Les ouvriers européens (monographie XXXII, mineur des montagnes métallifères de l'Auvergne ; XIV, mineur de la corporation des mines d'argent et de plomb du Haut-Harz ; XV, mineur et fondeur de la corporation des mines de mercure de Carniole ; XXI, mineur émigrant et paysan agriculteur de la Galice).

Souvent aussi, elle alimente seule la caisse de secours. Au point de vue auquel se place l'ouvrier, la différence est peu sensible. Il ne se préoccupe que de ce qu'on lui remet, et ne comprend pas, par la pensée, dans son salaire, la retenue qui ne passe pas par ses mains. Au point de vue de la Compagnie, certains patrons aiment mieux fournir seuls les capitaux, afin de pouvoir diriger seuls la caisse, et d'éviter par là des difficultés. D'autres préfèrent précisément le mode inverse, estimant qu'il est plus avantageux d'administrer sous l'œil des intéressés, et de concert avec eux, de manière à désarmer une méfiance instinctive. Il semble, en outre, que la coopération de l'ouvrier à l'alimentation de la caisse, soit de nature à le relever à ses propres yeux, en ôtant à cette institution le caractère de la bienfaisance, pour y substituer plus nettement celui de la prévoyance.

En Allemagne, la loi intervient dans cette matière, en exigeant que la contribution soit fournie pour moitié par le propriétaire, chiffre qui est souvent dépassé par lui (1).

Toutes les amendes, ainsi que le produit des wagons refusés, sont, en outre, versés dans la caisse de secours; ce qui donne beaucoup de force à la Compagnie pour édicter des punitions de ce genre, puisqu'elle n'en profite pas, et que le montant, prélevé sur l'ouvrier répréhensible, revient directement à l'ouvrier souffrant.

La caisse de secours assure les soins du médecin, les médicaments gratuits, une paye journalière au malade incapable de tra-

(1) La contribution mise à la charge des Compagnies, en sus du salaire attribué à chaque ouvrier, est souvent considérable. On en peut juger par quelques exemples, relatifs à l'exercice 1882 :

	Fr.
Firminy	86,50
Blanzy	90,00
Anzin	95,00
Aniche	114,00
Bessèges	118,00
Liévin	163,00

La Société d'Épinac étant restée, pendant quelque temps, sans distribuer aucun dividende à ses actionnaires, n'en attribuait pas moins 86 francs à l'ouvrier. Les charges que s'imposent, à cet égard, certaines Compagnies françaises sont à peu près doubles de celles que supportent les exploitants de Prusse et de Saxe (Couriot. *Mémoires de la Société des ingénieurs civils*, mars 1884, p. 358).

vailler [1], les frais funéraires en cas de mort, une pension aux veuves non remariées, l'éducation des enfants jusqu'à l'âge de quatorze ans.

En Belgique, chaque mine, ou groupe de mines, possède sa caisse de secours particulière, et l'ensemble des exploitations d'un district, une *Caisse commune de prévoyance* [2], subventionnée par le gouvernement, les Compagnies, et une retenue effectuée sur les salaires. Les caisses communes ont la charge des pensions temporaires ou viagères, et des secours extraordinaires. Les caisses particulières restent chargées des secours momentanés, et des frais de médecin et de médicaments [3].

La *Caisse de retraites*, quand elle est distincte de la caisse de secours, est destinée, comme l'indique son nom, à servir une retraite aux ouvriers qui sont restés, pendant un temps déterminé, au service de la Compagnie. Elle fonctionne à l'aide d'une retenue spéciale sur le salaire, à laquelle la Compagnie ajoute encore une somme égale. La pension atteint, à Bessèges, 600 francs à 55 ans d'âge et 30 ans de service, si le mineur quitte la Société. Il peut également toucher une rente de 300 francs, en continuant à travailler. Les retenues sont remboursées à l'ouvrier qui abandonne la Compagnie, si elles ont été versées pendant un minimum de 5 années. A Sarrebruck, on arrive à 450 francs, avec 30 ans de service; et, à Klausthal, à 765 francs, après 40 ans. Une partie de la pension est réversible sur la veuve. En cas de second mariage, elle perd ce revenu, mais on lui accorde, en dot, une somme une fois payée.

La *Caisse de dépôts*, sorte de caisse d'épargne de l'ouvrier, reçoit ses économies, et lui en sert un intérêt, qui est ordinairement de 5 pour 100, pour stimuler en lui le sentiment de l'épargne. On a

[1] Variant de 0 fr. 75 à 1 fr. 50 et même 2 fr. 50 par homme; 0 fr. 60 à 1 fr. 00 pour une femme ; 0 fr. 20 à 0 fr. 50 par enfant.

[2] Centre, Liège, Namur, Charleroi, Mons, Luxembourg.

[3] De semblables fédérations présenteraient des difficultés en France, et risqueraient d'entraîner des inconvénients ; cependant les exploitants en ont pris l'initiative, et ont solidarisé, pour former une caisse centrale des retraites, les six compagnies de Beaubrun, la Loire, Montrambert, la Péronnière, Saint-Étienne, et Villebœuf, en profitant, pour cela, des facilités particulières que présentait l'origine commune de ces Sociétés.

même créé des caisses spéciales pour les enfants des écoles, afin de les dresser de bonne heure à l'ordre et à l'économie.

On a institué, à Bessèges, des *livrets de gratification*. Lorsqu'un ouvrier a mérité une récompense de 50 francs par an, au lieu de la lui délivrer, on l'inscrit à ce livret. A partir de ce moment, elle devient productive d'un intérêt de 4 pour 100. Il est de tradition, parmi les mineurs, que cette réserve n'est réclamée par eux qu'au moment où ils quittent le service, ou pour un besoin très urgent.

La *Caisse de prêts* fournit aux ouvriers qui paraissent offrir des garanties suffisantes, les avances nécessaires pour les aider à devenir propriétaires dans le pays. Les Compagnies y trouvent l'avantage de fixer, sur leurs exploitations, une population stable, plus sérieuse et plus tranquille que l'élément flottant et nomade, avec lequel des désordres sont davantage à redouter. Ces avances sont souvent faites sans intérêt.

L'*Assurance sur la vie* que contractent beaucoup de jeunes ingénieurs, leur est facilitée par certaines Compagnies [1], qui prennent libéralement à leur charge la moitié de l'annuité à servir, pendant le temps que l'ingénieur passe à leur service.

1254 — C'est souvent par des chiffres énormes que s'établissent les budgets de ces diverses institutions. La Compagnie d'Anzin a élevé plus de 3000 habitations d'ouvriers. Ses écoles, dans lesquelles elle entretient 7000 élèves, garçons ou filles, lui ont coûté un million et demi. La Société des mines de Béthune a construit une grande église, qui est une merveille de luxe et d'élégance architecturale. La Compagnie de la Grand'Combe a dépensé 500 000 francs, pour créer deux églises catholiques et un temple protestant. Sa Société coopérative a fait, dans certaines années, pour plus de 1 500 000 francs d'affaires. Celle de Blanzy distribue, par an, 1800 tonnes de pain et 270 tonnes de lard. La Caisse de

[1] Note sur les institutions fondées par la Compagnie houillère de Bessèges en faveur de ses ouvriers et employés. — Badon-Pascal. Conférence relative à l'assurance sur la vie, faite à l'École des Mines de Saint-Étienne, *CRM*, 1883, 23, 47. — Küttner. Die Invalidität und Invaliditäts-Versicherung der Steinkohlenbergleute (*Zeitschrift BHS*, XXX, 135).

secours de cette Compagnie a un budget de 300 000 francs. La Caisse de prêts de Bascoup a, en 1875, avancé 100 000 francs environ à ses ouvriers.

Au commencement de 1872, on comptait, en Prusse, 88 Sociétés ouvrières, comprenant 255 408 membres, pour 2725 mines, et 202 usines ou salines. Elles ont encaissé, dans l'année, 12 823 483 francs. Le versement moyen de chaque membre a été de 25f,06. Il lui a été attribué en retour 15f,29 pour la maladie, et 24f,88 pour les pensions, soit en tout 40f,08; c'est-à-dire un excédent de 15f,02 sur son déboursé. Les dépenses, pendant cet exercice, se sont réparties de la manière suivante :

DÉPENSES	SOMMES	PROPORTION
	francs	francs
Pensions viagères aux ouvriers.	2 684 562	24,23
Pensions viagères aux veuves.	1 943 171	17,54
Secours aux orphelins	1 038 122	9,37
Secours extraordinaires	181 220	1,64
Frais d'instruction.	349 328	3,16
Salaires de malades	1 736 438	15,67
Honoraires de médecins	767 155	6,92
Dépenses de pharmacie.	1 378 927	12,44
Frais funéraires.	159 898	1,44
Frais d'administration.	519 775	4,69
Dépenses diverses	321 180	2,90
Totaux.	11 079 776	100,00

CHAPITRE L

DESCENDERIES

—

§ 1

DESCENDERIES SANS MACHINE

1255 — *Circulation intérieure.* — Nous consacrerons ce chapitre à l'étude des moyens employés pour l'introduction, et la circulation du personnel dans les travaux.

Pour monter de la voie de fond dans les tailles, on emploie, quand il y a lieu, des bures de petit calibre, boisées en carré, avec des cadres très rapprochés. On y monte en s'arc-boutant, du dos et des pieds, contre les parois opposées, et en s'aidant des coudes, sur les parois latérales. Cette manœuvre fatigante ne se prolonge, bien entendu, que sur de faibles hauteurs.

On la facilite, en cloisonnant ces cheminées avec des planchers horizontaux, disposés de mètre en mètre, de manière à recouvrir la moitié seulement de la section. On les dévie, chaque fois, d'un angle droit, de manière à former une sorte d'escalier tournant. De simples traverses de bois peuvent également suffire, pour ce dernier dispositif.

On emploie aussi de courtes échelles de cordes, mais plus souvent encore, des échelles de bois.

Lorsqu'il ne s'agit que de faciliter la descente, en réservant la question de la montée, on dispose, côte à côte, deux longuerines de bois parfaitement poli. Le mineur se couche sur le dos, et se laisse

couler en bas, en modérant sa vitesse à l'aide d'une main-courante en corde, qu'il serre avec un gant [1].

Tous ces moyens sont d'un usage de plus en plus exceptionnel, et la coordination rationnelle des méthodes d'exploitation tend, aujourd'hui, à ménager des ressources faciles pour la circulation à l'intérieur. Nous n'avons donc à concentrer notre attention que sur les moyens d'introduction de l'ouvrier, du jour au fond.

1256 — *Fendues*. — On préférera ordinairement les galeries inclinées, lorsque la profondeur et la configuration topographique le permettent. On est arrivé ainsi à racheter de grandes différences de niveau. Quand la pente de la galerie devient très marquée, on assure le pied des hommes, en garnissant la sole de rondins placés en travers. Ces ouvrages doivent avoir une hauteur suffisante. S'il est déjà très pénible de marcher courbé dans une galerie horizontale, il devient impraticable de se pencher en avant, pour descendre dans une fendue trop basse de plafond.

Rien n'oblige à établir ces ouvrages en ligne droite, et on les dispose très souvent suivant une ligne à double courbure. Ils rappellent alors les tunnels hélicoïdaux, que l'on introduit dans le tracé des chemins de fer sur les plus hautes crêtes, lorsque le flanc des vallées ne permet pas de s'élever au niveau voulu, avec un développement à ciel ouvert suffisant pour ne pas dépasser les limites de pente acceptables par la traction à vapeur. On ajoute alors un supplément de circonvolutions souterraines.

Ce principe est même employé, dans certaines exploitations chinoises, pour fournir un moyen d'extraction, absolument barbare, du reste, dans lequel de petits chariots sont traînés sur ces pentes, plus ou moins hélicoïdales, du fond jusqu'au jour.

Dans quelques mines de l'Occident, on a établi, dans ces conditions, de véritables escaliers, tournants ou rectilignes [2]. Il existe un escalier de neuf cents marches à Valdonne, et un autre de mille marches à Gréasque (Bouches-du-Rhône). On en a employé

[1] Je rappellerai, à ce sujet, le chariot de Mazenay, employé pour parcourir rapidement des distances horizontales (tome I, p. 700, note).

[2] *Annales*, 7e, III, 373.

aussi à Commentry. La mine de sel de Wieliczka (Pologne) possède une belle vis en maçonnerie, de 86 mètres de hauteur. Les Arabes ont construit, en Égypte, un escalier tournant de 88 mètres dans le puits de Joseph, qui présente 8 mètres de diamètre sur une partie de sa hauteur ([1]). Dans la mine d'argent de Sala (Suède), on descend jusqu'à 170 mètres avec des escaliers, et, au delà, avec des échelles. A la mine d'argent de Chañarcillo (Chili), la descente se fait par de semblables boyaux, jusqu'à près de 400 mètres. Dans les vieux travaux de l'Allerheiligen Gang, à Schemnitz, se voit encore un escalier tournant, percé à la pointerolle, et formé de quatre rampes disposées à angle droit l'une à la suite de l'autre. Les marches sont faites de pièces de bois encastrées dans les parois. On s'explique difficilement dans quel but a pu être percé, au prix de tels efforts, un ouvrage aussi luxueux ([2]).

1257 — *Échelles.* — Le moyen par excellence de descente dans les mines, a été, pendant les siècles qui se sont succédé jusqu'à celui-ci, l'emploi des échelles. Si d'autres procédés tendent aujourd'hui à prévaloir, rien ne dispense, en aucun cas, d'établir, dans un certain nombre de puits, des répétitions d'échelles, pour assurer la sortie du personnel, dans l'hypothèse où les moyens mécaniques viendraient à être désorganisés ([3]).

Les échelles se font en bois ou en fer. Dans ce dernier cas, les montants sont en fer plat, de 6 à 7 centimètres de largeur, sur 6 à 7 millimètres d'épaisseur. Leur écartement est de 25 centimètres. Les échelons, en fer rond, ont au moins 25 millimètres de diamètre, et se succèdent à 20 ou 25 centimètres d'intervalle. Le prix du mètre courant peut varier de 3f,50 à 7 francs, et son poids, de 8 à 10 kilogrammes.

Les échelles en fer sont d'une solidité absolue, et d'une durée

([1]) Dr Gustave Lebon. Civilisation des Arabes, 245.

([2]) Zeiller et Henry (*Annales*, 7e, III, 373).

([3]) Les descenderies du service ordinaire se placent toujours dans l'air pur, en vue d'améliorer la respiration des hommes, et de diminuer le danger des lampes. Pour les cas, très rares, où l'on établit des échelles de service dans le puits de retour d'air, il faut disposer, à la partie supérieure, une chambre et des portes jouant le rôle de sas à air, puisque le puits doit rester fermé, afin de permettre le jeu du ventilateur aspirant.

indéfinie ; mais elles sont chères. Un inconvénient plus grave encore réside dans la conductibilité du métal. Il est très froid au contact, surtout en hiver, aux approches de la surface, et avec les suintements qui le mouillent. Cette température glace et paralyse les mains, au moment où toute la fatigue de l'ascension s'est accumulée successivement. Pour ce motif, les échelles métalliques sont très peu employées, sauf pour la partie inférieure d'un puits en fonçage, afin de mieux résister aux coups de mine.

Les échelles en bois ont des montants de 3 à 5 centimètres de largeur, suivant le plan de l'échelle, et 10 à 12 centimètres d'épaisseur, dans le sens perpendiculaire. Les échelons présentent 4 à 5 centimètres de diamètre, quand ils sont ronds. Souvent on leur donne une forme méplate, pour qu'ils résistent par leur tranche au poids du corps. Il est important que le système soit bien rigide, sans flexions ni oscillations. Le prix du mètre courant est de 2f,25 à 3f,00.

Le bois a le défaut de pourrir et de s'user rapidement. On a soin d'interdire aux mineurs de descendre avec des souliers ferrés. La plupart du temps, d'ailleurs, ils sont pieds nus. Pour le cas où quelque échelon menacerait ruine, il faut, autant que possible, tenir les pieds près de l'encastrement, et ne pas lâcher une main avant d'avoir bien assuré l'autre.

1258 — On peut disposer les échelles verticalement, en les maintenant à une distance de la paroi suffisante pour que la pointe du pied trouve sa place. Dans cette situation, elles tiennent moins de place, et peuvent être fixées avec beaucoup de solidité. Mais tous les hommes se trouvent alors placés exactement les uns au-dessus des autres, ce qui aggrave considérablement les conséquences de la chute de l'un d'eux. De plus, la montée devient incomparablement plus fatigante, que si l'on donne aux échelles une certaine inclinaison.

La plus favorable est celle de 70 degrés. Par là le centre de gravité du corps reste à peu près sur la verticale du point d'appui, au lieu qu'avec l'échelle verticale, il se trouve nécessairement en dehors. Le moment du poids, par rapport à l'échelon qui sert

de base, ne peut donc être contre-balancé, pour l'équilibre, que par celui d'une tension égale développée dans les bras, ce qui détermine un excédent de lassitude absolument inutile.

En raison de l'accumulation de cette fatigue, on dispose les échelles en répétition, avec des planchers intermédiaires, qui permettent aux hommes de reprendre haleine. Ce motif suffirait à lui seul, pour les échelles verticales. Mais, avec le dispositif incliné, il s'y joint évidemment la nécessité d'assurer le pied de l'échelle, à une distance de la paroi dont le rapport à la hauteur est marqué par *cotang* 70°, c'est-à-dire environ 4/11, ou 36 °/₀. Ces planchers se font à claires-voies, afin que l'eau n'y puisse séjourner par-dessus, ni le grisou par-dessous. L'oubli de cette prescription a donné lieu à de nombreux accidents. Ils sont percés d'un trou rectangulaire, suffisant pour le passage du corps de l'homme. L'échelle se redresse verticalement, sur un mètre environ, pour cette traversée (fig. 727, 728), et l'on fixe, avec de solides crampons, à un mètre au-dessus d'elle, une manotte en fer, que le mineur saisit avec la main, pour assurer sa sortie, quand il prend pied sur le plancher.

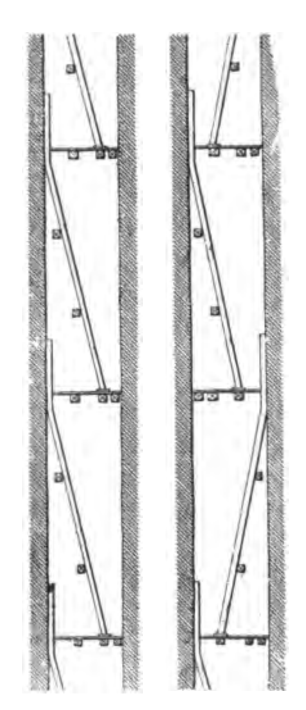


Fig. 727, 728. Échelles.

Les échelles peuvent être, d'une travée à l'autre, établies suivant deux dispositifs différents : *parallèle* ou *croisé*. Le premier présente plus de sécurité, en ce que l'échelle recouvre, en projection, l'ouverture du plancher inférieur.

1259 — *Utilité des moyens mécaniques.* — Les moyens d'ascension sans machine, et à l'aide de la seule force musculaire, occasionnent une grande perte de temps, ainsi qu'une fatigue considérable. On comprend facilement que ce ne soit qu'une

simple question de profondeur, pour atteindre un tel point, que tout le travail dont l'homme est susceptible dans sa journée, suffirait uniquement à sa descente et à sa montée, en ne lui permettant d'effectuer, dans le fond, aucune besogne utile. Sans même pousser, par la pensée, les choses à cet extrême, on doit craindre qu'aux grandes profondeurs, la fatigue de l'ascension ne réduise le rendement du piqueur d'une manière tout à fait anti-économique.

Si l'on suppose, à cet effet, le poids du corps égal à 70 kilogrammes, chaque centaine de mètres représente, pour la montée (en passant sous silence l'effet de la descente), un travail de 7000 kilogrammètres. Or nous avons vu [1] que la capacité journalière de travail, pour un homme placé dans les conditions les plus favorables, quand il ne fait qu'élever son propre corps en pente douce, est de 280 000 kilogrammètres. Il convient, sans doute, de n'admettre, au plus, que la moitié de ce chiffre, afin de tenir compte des conditions bien différentes de l'ascension sur les échelles de mines, et de l'appoint nécessaire pour la fatigue de la descente. Cette moitié représente, dès lors, l'ascension de 2 kilomètres d'échelles; et, par conséquent, dans une exploitation de 500 mètres de profondeur, on aura déjà dépensé un quart de la puissance du mineur, par le seul fait de son introduction dans les travaux. Or un très grand nombre de mines dépassent aujourd'hui ce chiffre.

Remarquons, d'ailleurs, que le calcul précédent prend pour base le rendement qui est propre à l'homme fait, dans des conditions moyennes, mais en possession de toute sa vigueur, tandis que le personnel d'une exploitation renferme également des ouvriers déjà fatigués par l'âge, et des enfants.

Il est inutile d'ajouter, enfin, que des considérations évidentes d'hygiène et d'humanité militeront également, pour que l'on n'impose pas une pareille épreuve à l'ouvrier, s'il est possible de la lui épargner.

L'emploi des moyens mécaniques s'indique donc tout naturellement à cet égard. Il suffit, pour cela, en principe, de considérer le corps de l'homme comme une simple matière à extraire du

[1] Tome I, p. 770.

fond de la mine. Nous rentrons par là dans le domaine de l'extraction, qui nous fournira deux solutions déjà examinées ci-dessus : l'emploi des appareils oscillants et celui du câble.

§ 2

FAHRKUNST

1260 — Les appareils oscillants ont été, comme nous l'avons vu (nº 862), abandonnés par les exploitants, en ce qui concerne l'extraction des minerais; non pas que le principe de l'oscillation de longuerines équilibrées ne fût, en lui-même, très ingénieux; mais en raison de l'extrême complication d'organes, qu'il avait été nécessaire d'introduire, pour rendre automatiques les manœuvres du chariot, aux moments où il doit changer de palier. Seulement la question change de face, lorsqu'à un objet inerte nous substituons l'homme lui-même, doué d'intelligence et de mouvement. Les appareils oscillants retrouvent, par suite, à ce point de vue, beaucoup d'importance, et ils ont rendu de grands services. On les appelle *Fahrkunst* au Hartz, où ils ont été imaginés en 1833 par Dörell, *Man-engine* en Angleterre, et, en France, *échelles mécaniques* ou *Warocquières* [1]. On en a construit à Przibram, qui atteignent 1000 mètres de hauteur. Ces systèmes peuvent être à simple ou à double effet.

Les fahrkunst à double effet se composent de deux longuerines

[1] Warocquié. Description d'un appareil à descendre les ouvriers (*Annales*, 4e, VII, 333). — Fayn. Appareils de translation des ouvriers. Liège, 1877. — Moissenet. Description des man-engine du Cornwall (*Annales*, 5e, XV, 1). — Fahrkunst à une tige. Habets (*Rev. univ. d. m. et u.*, 1re, XVI, 97). — Fahrkunst. Baure (*Bull. min.*, 1re, VI, 83). — Fahrkunst. Villiers (*Bull. min.*, 1re, VI, 337). — *Des Fahrkunst* et de leurs avantages. Devaux (*Rev. univ. d. m. et u.*, 1re, V, 193, 430). — Notice sur les fahrkunst. Delsaux (*Rev. univ. d. m. et u.*, 1re, VI, 224). — Note sur les appareils de translation du mineur dans les puits. De Vaux (*Rev. univ. d. m. et u.*, 1re, X, 1). — Fahrkunst (*Rev. univ. d. m. et u.*, 2e, V, 30). — Fahrkunst (*Œsterreichische Zeitschrift f. B. u. H.*, 1880, 71). — Fahrkunst am Mariaschacht in Przibram (*ibidem*, 1882, 196). — Von Hauer. *Die Fördermaschinen der Bergwerke*, 526. — *Berggeist*, 1869, N. 19. — *Berg-und Hütt. Zeit.*, 1854, 27. — *Archives de Karsten*, X, 199, 202. — Callon s'est longuement étendu sur ces appareils (*Cours d'exploitation des mines*, II, p. 285 à 305).

de bois ([1]) régnant sur toute la hauteur du puits (fig. 548, 729, 730), et recevant des mouvements inverses, de la part d'un moteur placé à la surface ([2]). Elles portent des poignées pour les mains, et, pour les pieds, des échelons en mât de perroquet. Lorsqu'elles s'arrêtent après chaque oscillation, le mineur saisit, d'une main et d'un pied, la tige qui arrive à sa rencontre, et qui, en renversant son mouvement, le transportera dans le même sens que le parcours précédent, effectué avec la première tringle, qu'il abandonne alors de l'autre main et de l'autre pied.

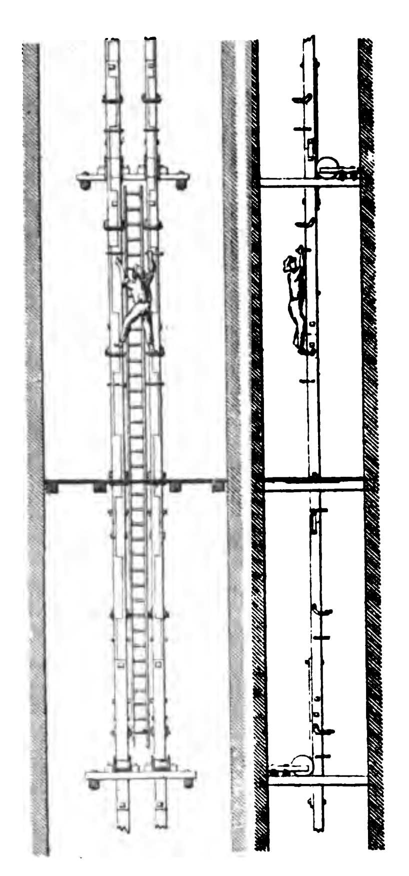


Fig. 729, 730. Fahrkunst (élévations antérieure et latérale).

De cette manière, l'ouvrier progresse d'une manière continue, en montant ou en descendant, suivant qu'il se place de manière à profiter de toutes les ascensions, ou de toutes les descentes des longuerines. Quand il veut se reposer un instant, il trouve, aux divers arrêts, des paliers fixes, sur lesquels il se place, en abandonnant les deux tiges. Si le système se dérange, le piqueur a également, à sa portée, un système d'échelles fixes, pour remonter au jour à la manière ordinaire. Un câble, régnant sur toute la hauteur, et aboutissant à une cloche dans la chambre des ma-

([1]) On a essayé de remplacer chaque longuerine par un système de deux câbles métalliques raidis, qui sont étrésillonnés ensemble par les échelons.

([2]) On a, dans une mine de Freyberg, utilisé, pour ce mouvement, la maîtresse-tige des pompes, avec des paliers fixes. Mais cette économie n'est pas à recommander. Ce service est assez important pour qu'on lui consacre un appareil spécial, indépendant des assujettissements et des inconvénients de l'épuisement

chines, sert au mineur en détresse pour correspondre avec le mécanicien, à l'aide de signaux convenus.

Les fahrkunst à simple effet ne comportent qu'une seule tige, avec des paliers fixes, ou des niches pratiquées dans la paroi. Le mineur s'y place après chaque course, et y reste pendant l'excursion inverse, pour reprendre la tige lorsqu'elle recommencera un mouvement de même sens. La durée du parcours est alors évidemment doublée.

1261 — Ce système rudimentaire a reçu certains perfectionnements. En vue de diminuer, pour les hommes, le danger d'être laminé entre les deux longuerines, par de fausses manœuvres, et les difficultés qui naissent de l'inclinaison de certains puits, on a employé des tiroirs (fig. 731), dans lesquels s'insère le corps de l'homme, protégé par cette armure.

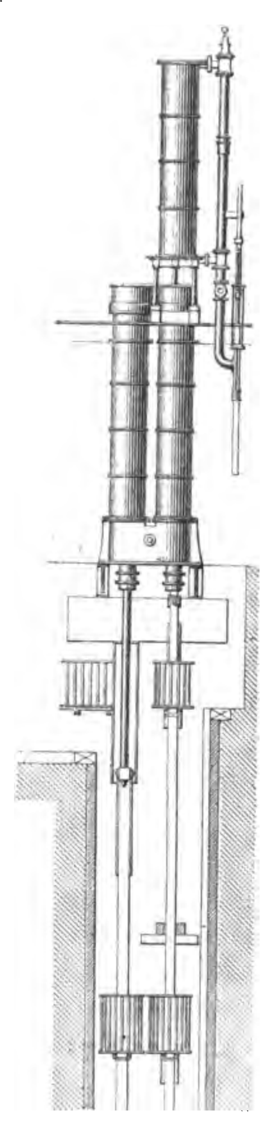


Fig. 731. Fahrkunst.

Mais c'est sous la direction de M. Warocquié, que ces appareils ont pris leur forme définitive et la plus confortable (fig. 732). Au lieu de simples échelons, on établit de véritables paliers, environnés d'un garde-corps en fer. Rien n'est alors plus facile que de passer de l'un sur l'autre, lors même que deux courants de circulation se rencontrent, montant et descendant à la fois; circonstance qu'il convient cependant de proscrire autant que possible. Il est d'ailleurs facile de permettre la simultanéité de cette double circulation, tout en évitant les rencontres. Il suffit de donner, à la course de la warocquière, une amplitude double de l'intervalle des paliers. Il devient alors impossible de passer de la série paire sur la série impaire. L'une sert pour l'ascension, et l'autre pour la descente.

Quand on veut rester maître de pousser la hauteur de ces appa-

reils au delà de toutes limites, on les équilibre, de distance en distance, par des chaînes qui passent sur des poulies, et supportent, de l'autre côté, des contrepoids. Dans ces conditions, non seulement la résistance des tiges est soulagée, mais, en outre, le travail de la pesanteur se trouve égalisé dans les fahrkunst à simple effet.


Fig. 732. Warocquières.

1262 — Quant à la machine motrice, destinée à communiquer aux tiges le mouvement oscillatoire, elle peut être établie d'après deux principes distincts.

Dans l'un, le mouvement est intermittent, avec intervalle de repos entre chaque oscillation, et attaque plus ou moins brusque au départ. Une cataracte commande ces manœuvres, et permet de régler, à volonté, le temps de l'arrêt.

Dans l'autre, le mouvement est continu, et appartient au type sinusoïdal, c'est-à-dire qu'il reproduit, sauf l'influence de l'obliquité de la bielle, la loi cinématique de la projection d'un point qui parcourt uniformément un cercle. Il n'y a plus alors d'arrêt proprement dit, avec une vitesse nulle pendant un temps fini. Seulement, le changement de sens aux extrémités s'accompagne d'un ralentissement très marqué, et bien rythmé, dont les hommes acquièrent le sentiment, de manière à changer de place sans difficulté. Ils trouvent même ce régime plus doux que le premier, dans lequel le plancher, en se dérobant tout à coup sous les pieds, fait naître une sensation pénible.

Dans les appareils à double effet, une seule des deux tiges se

trouve actionnée directement par le piston à vapeur. Un renvoi hydraulique, renfermé dans un tube en **U**, communique, au piston obturateur du second cylindre, un mouvement rigoureusement synchrone du premier (fig. 732). Une petite pompe sert à réparer ses pertes. L'adjonction d'un frein est indispensable, afin de pouvoir descendre les hommes à charge. On peut se contenter, pour cela, d'un simple robinet, permettant d'étrangler, à volonté, le passage de l'eau.

1263 — En supposant une manivelle de 1 mètre, la course sera de 2 mètres, et la descente d'un homme égale à 4 mètres, en opérant à double effet, pour le faire profiter des deux courses simples. Si la machine donne 8 coups doubles par minute, le parcours sera de 32 mètres, et la vitesse moyenne $\frac{32}{60}$, ou $\frac{8}{15}$ mètres par seconde. Les paliers étant espacés de 4 mètres, il s'en trouve 25 dans chaque centaine de mètres. En admettant que chacun d'eux porte un homme de 65 kilogrammes, et que les tiges soient exactement équilibrées, pour plus de simplicité, le poids à élever sera $25 \times 65 = 1625$ kilogrammes, et le travail par seconde $\frac{8}{15} \times 1625$, c'est-à-dire $\frac{2600}{3}$ kilogrammètres ; par conséquent, la force en chevaux $\frac{2600}{3 \times 75}$ ou $\frac{104}{9}$. Si l'on admet un rendement égal à $\frac{3}{4}$, la force nominale devra être $\frac{3}{4} \times \frac{104}{9}$ ou $15^{ch},40$; c'est-à-dire, finalement, une quinzaine de chevaux pour chaque centaine de mètres de profondeur.

On voit, par exemple, qu'un personnel de 250 hommes suffirait pour occuper toute la hauteur d'une descenderie de 1000 mètres, et nécessiterait alors un moteur de 150 chevaux. Mais une telle profondeur est une limite exceptionnelle, et l'on pourra, en outre, fractionner la descente en plusieurs équipes, dont l'une ne s'engage que lorsque l'autre commence à arriver à l'extrémité. Il est vrai que ce sera alors au détriment de la rapidité du service.

Pour apprécier la durée du trait, supposons-le, au contraire, continu. Cette durée comprendra d'abord le temps nécessaire au premier

mineur, pour atteindre le sommet avec la vitesse moyenne $\frac{8}{15}$, c'est-à-dire $\frac{15}{8}$ H. A partir de ce moment, on verra arriver un homme, à chaque coup double. Il en parviendra donc 8 par minute, c'est-à-dire $\frac{8}{60}$, ou $\frac{2}{15}$ par seconde. Il faudra, par suite, un nouveau délai de $\frac{15}{2}$ N secondes, si N désigne le chiffre du personnel. En résumé, la durée des manœuvres, qui se reproduira deux fois par jour, sera, pour chaque trait :

$$\frac{15}{8}(H + 4N),$$

c'est-à-dire :

$$1{,}875H + 7{,}500N.$$

Si, par exemple, nous supposons, comme tout à l'heure, $H = 1000$ et $N = 250$, la durée de chacun des deux traits sera de 3750 secondes, ou environ une heure. Elle serait de deux heures avec le simple effet, dans les mêmes conditions, et la machine marcherait alors pendant quatre heures par jour.

§ 3

DESCENTE PAR LE CABLE

1264 — *Moyens divers.* — L'emploi du câble [1], pour le service des hommes, tend à prévaloir de plus en plus. L'expression analytique de la durée du trait prend alors une forme différente de la précédente, et ne s'exprime plus par une fonction linéaire de la profondeur et du chiffre du personnel. Chaque voyage nécessite un temps constant, d'une minute environ, pour les manœuvres, et, en outre, une durée proportionnelle à la profondeur. Quant au nombre des voyages, il est lui-même en raison du chiffre du per-

[1] Ou de l'extraction atmosphérique, à Epinac.

sonnel. La durée totale s'exprime donc par le produit de ce nombre N, et d'une fonction linéaire de la hauteur H.

Depuis longtemps, on a commencé à employer le câble, pour descendre les hommes, dans les conditions les plus diverses. Le mineur pénètre, encore aujourd'hui, dans certains puits de marnière, assis sur un bâton, ou dans une boucle du câble, dont il tient, entre ses mains, la partie verticale. Le même moyen était employé autrefois dans les salines de Wielicska (fig. 733), ou avec les *knechte* [1] des mines de Schemnitz (fig. 734). Ces derniers sont formés de lanières de cuir, dont l'une sert de siège, et l'autre de dossier. On peut garder les mains libres, en se renversant sur ce dossier, et attachant la lampe sous le siège. On a aussi employé, en Angleterre, des étriers, sur lesquels le mineur se tient debout, en serrant le câble dans ses mains.



Fig. 733. Descente dans une boucle de câble.

Un moyen plus pratique consiste à se placer dans la benne (fig. 735). Il doit être interdit de se tenir debout sur les bords, disposition réglementaire trop souvent éludée. On a recommandé de s'attacher au câble avec une ceinture de sûreté, pour le cas où le tonneau viendrait à basculer. Un disque en tôle préserve les mineurs de la chute de la pluie, et surtout des pierres (n° 733). On ne doit jamais sortir d'une benne, à un accrochage où ne se trouvent pas de moulineurs pour *recevoir* les ouvriers. Au signal d'avertissement : *attention aux hommes*, le receveur-

[1] *Annales*, 7e, III, 381.

chef se tient sur le bord du puits, pour aider les ouvriers à débarquer. Nul autre que les moulineurs en titre ne doit se mêler de ce soin. Il convient que la vitesse des bennes non guidées qui renferment des hommes, ne dépasse jamais 1 mètre par seconde.



Fig. 735.
Descente dans la benne.

1265 — *Cages guidées.* — Le procédé de descente le plus commode est l'emploi des cages guidées [1]. Elles procurent beaucoup plus de sécurité, en supprimant la possibilité des rencontres, et permettant l'usage du parachute. On a soin d'enfermer les mineurs au moyen de grillages, pour qu'il leur devienne impossible de passer la tête, les pieds, les mains, les coudes, qui seraient exposés à être cisaillés.

Fig. 734. Knechte de Schemnitz.

Les cages permettent d'imprimer au trait des hommes une très grande rapidité, bien que leur allure doive être alors, par prudence, sensiblement réduite au-dessous de la vitesse ordinaire du minerai. On l'abaisse aux deux tiers environ de cette rapidité normale, sans jamais dépasser 5 à 6 mètres par seconde [2]. La vitesse, même restreinte, suffit souvent pour déterminer une surdité temporaire, en raison du changement trop brusque de pression avec la hauteur. On la dissipe, en répétant, de temps en temps, pendant la descente, le mouvement de la déglutition

(1) L'oberbergamt de Dortmund possède, dans 556 puits (de 265 charbonnages) 396 descenderies à échelles, 152 par le câble, et 8 fahrkunst (Briart. De la translation des ouvriers dans les mines (*Rev. univ., d. m. et u.* 2e, I).

(2) En Angleterre, on néglige souvent ces règles de prudence.

de la salive, pour rouvrir la trompe d'Eustache, et mettre l'air qui remplit les cavités internes, en équilibre de tension avec l'atmosphère [1].

On ne doit jamais suspendre des hommes à un câble épissé.

Quand le service n'occupe pas les deux câbles à la fois, on a soin de se servir du plus neuf des deux ; mais, toutefois, on commence par le soumettre, après son renouvellement, au service du charbon, pendant quelques semaines, afin d'acquérir préalablement la certitude de sa solidité (n° 731).

Au commencement de chaque poste, on doit également faire au moins deux voyages à vide, ou avec du charbon, pour s'assurer du bon fonctionnement de la machine, avant de lui confier des hommes.

Les ouvriers n'entrent dans la cage qu'au commandement du mécanicien, après qu'il a mis la corde au raide. De même, ils ne sortent que sur un autre signal, lorsque la cage repose déjà sur ses taquets. Quelquefois on les embarque dans des berlines, où ils se tiennent accroupis, de manière à en laisser faire l'engagement par les moulineurs, avec la régularité systématique de ces manœuvres. On ne doit pas embarquer des mineurs, en même temps que du charbon, sur aucun des deux câbles. Les outils très lourds sont montés à part. Autant que possible, on évite de superposer des mouvements de descente et de montée du personnel. Les moulineurs ne peuvent jamais envoyer un enfant, sans un compagnon âgé d'au moins 25 ans. Les hommes doivent se tenir immobiles dans les cages [2].

1266 — *Appareils australiens.* — Lorsque des exploitations, très réduites comme importance, fonctionnent sans moteur, et avec l'extraction à bras, il devient difficile et dangereux de faire

[1] L'œil lui-même met un certain temps à s'accommoder à l'obscurité relative que l'on rencontre en débarquant dans les accrochages, surtout quand on quitte la lumière directe du soleil. Le moyen de retrouver le plus vite possible l'usage de la vue, n'est pas de faire des efforts pour mieux voir, mais, tout au contraire, de fermer complètement les yeux pendant quelques instants. Lorsqu'on les rouvre ensuite, ils sont devenus plus sensibles à la lumière diffuse qui éclaire les travaux.

[2] L'oberbergamt de Dortmund a rédigé, pour l'extraction des hommes par les cages, un ordre de service minutieusement détaillé.

monter les ouvriers par le câble. Dans tous les cas, on n'aperçoit pas facilement la possibilité, pour un homme absolument isolé, de monter et descendre par la corde, en raison de sa propre force, et sans la présence d'aucun aide, en haut ni en bas. C'est pourtant le

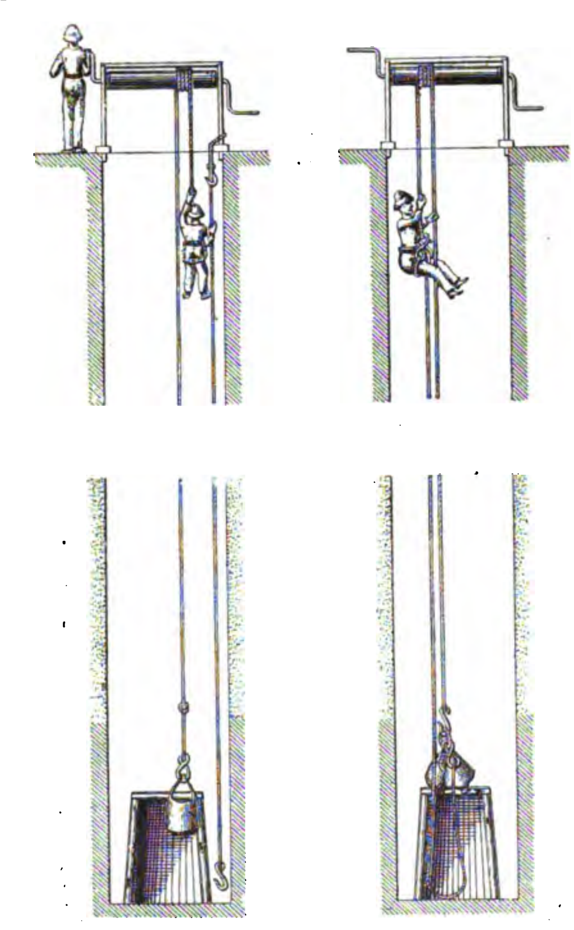


Fig. 736, 737. Descenderies australiennes.

problème qui a été résolu, avec une grande simplicité, sur les placers d'Australie [1]; ce procédé simple, et très ingénieux, pourrait sans doute rendre des services, dans des exploitations similaires de nos contrées (fig. 736, 757).

[1] Raffard. *Annuaire de la Société des anciens élèves de l'École des Arts et Métiers*, 1872. — Haton de la Goupillière (*Annales*, 8e, I, 402).

Quand le poste doit descendre, les deux ouvriers les plus robustes résistent, sur les manivelles du treuil, au poids de leurs camarades, qui se suspendent successivement à la corde. Chacun d'eux s'assied dans une boucle formée par l'extrémité de cette dernière, dont on agrafe le crochet de sûreté après la corde elle-même, au-dessus d'un nœud situé à un mètre environ de cette extrémité, afin d'empêcher le crochet de glisser et de serrer la boucle. L'ouvrier tient ce câble d'une main, pour assurer sa propre verticalité. De l'autre, ou avec ses pieds, il maintient légèrement, de manière à pouvoir la saisir vivement en cas de danger, une *corde de sûreté*. Nous appellerons ainsi un ancien câble, encore bon, quoique ayant déjà fourni antérieurement une campagne comme *câble-porteur*. Il est agrafé, à l'aide de son crochet de sûreté, à l'un des montants du treuil, autour duquel il fait un tour, et d'où il pend, le long de la paroi, jusqu'au fond du puits. Cette précaution évite un tournoiement très pénible, et assure une protection, en cas de rupture du câble-porteur, ou d'une avarie quelconque.

1267 — Mais la question change de face, lorsque les deux moulineurs veulent descendre à leur tour, de manière que personne ne reste inactif au dehors. Le moins fort des deux passe l'avant-dernier. Je le désignerai par A, et son poids par a. Le plus robuste descend le dernier. Nous l'appellerons D, et son poids d.

Le dernier ouvrier, que A et D viennent de descendre, à la manière ordinaire, accroche au câble un seau rempli de minerai, et d'un poids capable d'alléger suffisamment la résistance que D doit opposer à la descente de A. Supposons-le, par exemple, de 30 kilogrammes. Le mouvement se fait dès lors comme précédemment, mais avec un seul moulineur, qui résiste au poids $a - 30$, réduit dans le rapport inverse des rayons.

Il s'agit, enfin, pour le dernier ouvrier D, de descendre sans aucune aide du dehors. A cet effet, le mineur A, après s'être dégagé du câble, substitue, à sa propre personne, un sac rempli de sable et noué à la gorge, qui ne sert qu'à cette fonction. Je le désignerai par S, et son poids par s. En même temps, A agrafe, à ce sac, le

crochet qui termine le pied du câble de sûreté, tout comme il vient de le faire pour celui du câble-porteur. Les deux cordes se trouvent donc, par l'intermédiaire du sac S, réunies par le bas, comme on le fera tout à l'heure pour le haut, de manière à former une *corde sans fin*. De là, une première circonstance très importante : c'est qu'à partir de ce moment, il n'y aura, pendant le mouvement, aucune variation de poids du câble, contrairement à ce qui se passe quand il a deux bouts, dont l'un monte par le raccourcissement de ce brin, tandis que le second descend, en allongeant l'autre brin. C'est, comme on le voit, un artifice identique à celui des anciens appareils employés à Saint-Étienne pour la descente des remblais, et des nouvelles machines d'extraction de M. Kœpe (nº 777). Il ne faut pas omettre d'ajouter que l'adhérence avec le treuil s'obtient en y faisant faire au câble deux ou trois tours, qui se déplaceront latéralement suivant les génératrices, pendant le mouvement de rotation.

Lorsqu'un cri, poussé par le mineur A, avertit D que tout est prêt dans le fond, celui-ci descend, après avoir pris les dispositions suivantes. Il a commencé par détacher le seau, qui avait servi de contrepoids pour la descente de A. Il verse le minerai sur la place de dépôt, et laisse le seau vide au bord du puits, pour une manœuvre qui sera indiquée tout à l'heure[1]. Il détache alors le câble de sûreté du montant du treuil auquel il était fixé, et l'agrafe au câble-porteur, au-dessus du nœud qui se trouve à un mètre de son extrémité, en constituant ainsi, en haut comme en bas, un câble sans fin. Il réagrafe, en outre, cette même extrémité au-dessus du nœud, de manière à former, comme à toutes les descentes précédentes, une boucle dans laquelle il s'assied à son tour.

Il saisit, d'une main, le câble-porteur pour assurer sa verticalité. Mais, en outre, il serre fortement, de l'autre main, le second brin, afin d'amortir, par la vigueur de son bras, la petite chute qu'il ferait sans cela dans le vide, jusqu'à ce que, le câble se trouvant tendu,

[1] Pour faciliter ces opérations, sans avoir besoin de retenir la manivelle, on passe, dans un trou du montant du treuil, une broche, qui s'oppose à la rotation du bras de cette manivelle.

le poids s commence à être soulevé, et à contre-balancer celui de l'ouvrier. La valeur de s est d'ailleurs déterminée de manière à ne laisser subsister, par rapport à d, qu'une différence motrice très faible : 10 kilogrammes par exemple. Le bras du moulineur D pourra donc facilement tenir cette différence en respect ([1]), pour ralentir le mouvement suivant sa volonté. Disons, en passant, qu'il profite de cette faculté pour faire, à cette occasion, l'inspection des parois et du câble de sûreté.

Quand il arrive au fond, avant d'abandonner la corde, il commence par passer dans la boucle, à la place de sa propre personne, un bâton, qu'il arc-boute contre les parois, de manière à empêcher le système de remonter. Le câble se trouve ainsi accroché, et hors d'état de laisser redescendre le sac S, dont le poids s formera ainsi une réserve *potentielle* de travail, pour servir, quand il le faudra, à remonter D, après le poste.

1268 — Arrivons maintenant à cette seconde partie de l'opération. Les hommes remonteront dans l'ordre inverse : D tout seul, le premier ; puis A, avec l'aide de D parvenu en haut ; et ensuite tous les mineurs successivement, par les efforts réunis de A et D. Nous n'avons naturellement à nous occuper ici que des deux premières ascensions.

Le moulineur D commence par reprendre place dans la boucle, en se substituant au bâton qui arc-boutait le câble. Puis il tire, d'une main, sur le second brin, en soutenant, de l'autre, au câble-porteur, l'aplomb de son corps. Il n'aura, pour effectuer son ascension, qu'à exercer un effort insignifiant. En effet, il se trouve équilibré en partie par le sac S, dont le poids n'est inférieur que de 10 kilog. à d. Mais ce n'est même pas l'effort $d - s = 10$ kilog. que le mineur aura à développer : ce n'est que la moitié seulement, ou 5 kilog. Cela tient, d'après le principe des vitesses virtuelles, à ce que sa main, en exerçant son effort sur le câble, parcourt un espace double de l'élévation de son corps à chaque instant. En effet, il faut, pour que l'homme parvienne en haut, qu'il fasse

([1]) On verra même, dans un instant, que l'effort à exercer est réduit, par la constitution de l'appareil, à la moitié de cette différence.

filer dans sa main toute la longueur de câble qui la sépare de la boucle dans laquelle il est assis. Or, cette longueur représente le double de la hauteur du puits, car le câble monte jusqu'au treuil, d'où il redescend ensuite jusqu'à la boucle. Cet effort moyen de 5 kilog. étant insignifiant, le moulineur s'élève facilement avec une vitesse continue de $0^{m},75$ environ, bien qu'il ne développe que des actions intermittentes. Il ne doit pas, du reste, chercher à dépasser cette allure, de peur de choquer les parois, ou le sac S, au moment de la rencontre.

Arrivé au jour, D sort de la boucle. Il dégrafe le câble de sûreté, qu'il rattache au montant du treuil. Il détache également l'extrémité du câble-porteur, de manière à supprimer la boucle. Il fixe à cette extrémité le seau, qui était resté vide sur le bord, depuis la descente de A, et qu'il remplit d'outils ou d'objets utiles à envoyer au fond : de pierres, s'il n'a pas autre chose. Supposons encore que ce poids soit de 30 kilog.

Pendant ce temps, le moulineur A, de son côté, a également détaché du câble-porteur l'extrémité de la corde de sûreté, qui va dorénavant rester suspendue le long de la paroi du puits. Il reforme en boucle le bout du câble-porteur, en l'agrafant au-dessus de son nœud, s'assied dans cette boucle, et remonte par l'effort de D, en maintenant sa verticalité d'une main, et glissant l'autre le long de la corde de sûreté, afin de pouvoir l'étreindre vivement, en cas de danger. Pour effectuer cette élévation, D n'a besoin de développer que l'effort $a - 30$, réduit dans le rapport inverse des rayons. Il faut, à la vérité, ajouter à cette quantité le poids du câble-porteur, qui n'est plus sans fin. Mais celui-ci décroîtra constamment, circonstance favorable, pendant que s'accumulera, pour le moulineur, la fatigue musculaire.

Tel est le système en question.

1269 — Il me reste à décrire la manœuvre qui permet à un homme, absolument seul, de descendre dans un puits, sans aucune aide à attendre du dehors ni du fond. Il commence, pour cela, par tirer à lui la corde de sûreté. Il l'agrafe, ainsi que le câble-porteur, au sac S, puis il descend ce dernier, en résistant à la manivelle,

mais avec moins de précaution, naturellement, que s'il s'agissait d'un homme [1]. Quand le sac est au fond, le mineur détache, du montant du treuil, l'extrémité supérieure de la corde de sûreté, et l'agrafe au nœud du câble-porteur. A ce moment, les choses se retrouvent dans des conditions identiques à celles qui, tout à l'heure, avaient été préparées par le moulineur A, opérant au fond après sa descente, pour préparer celle de D (fig. 737). Dès lors, le mineur isolé va descendre, comme le faisait l'ouvrier D ; après quoi, il remontera ultérieurement, par le procédé que nous avons également fait connaître.

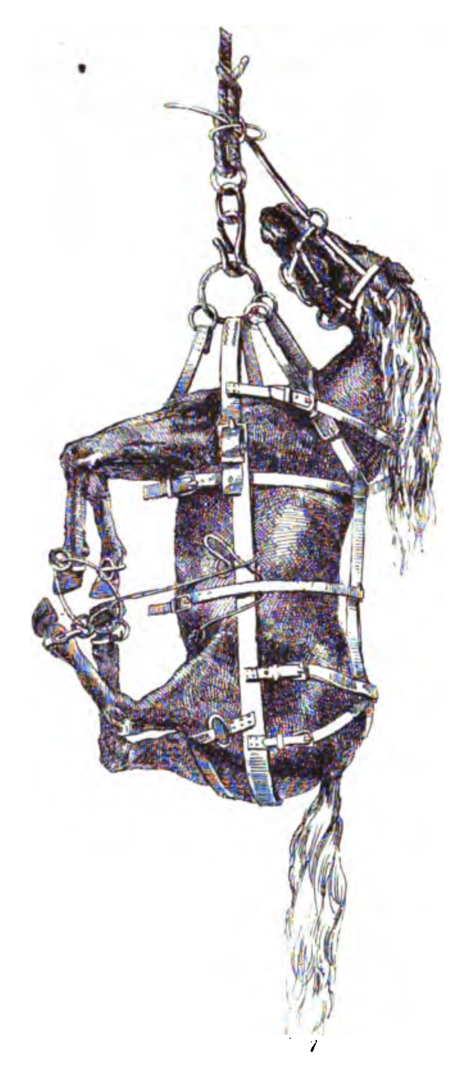


Fig. 738. Descente des chevaux.

1270 — *Descente des chevaux.* — Lorsque les dimensions de la cage le permettent, on y introduit le cheval, après lui avoir couvert les yeux d'œillères.

M. Hénin a construit, à

[1] Si du reste ce sac était trop lourd pour les forces de l'ouvrier, rien n'empêcherait celui-ci de descendre d'abord un seau, d'un poids égal à $\frac{s}{2}$ environ, et, ultérieurement, le sac S qui, ainsi équilibré, n'exercerait plus lui-même que l'effort $\frac{s}{2}$, en remontant le seau que décrocherait le moulineur, pour se substituer à lui.

Alseau-Presle ([1]), une cage variable, dont les traverses sont articulées, au lieu d'être assemblées d'équerre avec les montants, ce qui leur permet de s'incliner jusqu'à une certaine limite. Le cheval étant introduit dans la cage, ce que la longueur de celle-ci rend très-facile, on la voit se rétrécir au moment de l'enlevage, en raison de l'inégalité des brins de chaîne; mais l'animal, ainsi placé sur un plan incliné qui n'a pas changé de longueur, n'en éprouve pas d'inconvénient. Une barre de sûreté est clavetée, de manière à empêcher que la rencontre d'un obstacle ne vienne resserrer encore le système, en écrasant le cheval.

Si l'on ne peut employer la cage guidée, on descend les chevaux suspendus dans un fort filet de sangles (fig. 738). On leur bande les yeux, on les enveloppe de ce filet, et on les fait manquer des quatre pieds sur un lit de paille. Le filet est attaché au câble. Le mécanicien enlève doucement, et l'on descend l'animal dans une situation verticale, assis sur sa croupe, et les jambes repliées. Un palefrenier se place au-dessus de lui, avec sa lampe, pour guider le mouvement jusqu'en bas.

([1]) *Rev. univ. d. m. et u.*, 2e, VIII, 105.

DIXIÈME PARTIE

PRÉPARATION MÉCANIQUE DES MINERAIS

CHAPITRE LI

TRAVAIL A LA MAIN, BROYAGE, CLASSEMENT

§ 1

GÉNÉRALITÉS

1271 — Le problème que nous avons formulé au début de ce Cours est actuellement résolu. Les matières utiles ont été détachées du sein de la terre, et ramenées à la surface. Mais il n'arrivera que dans un petit nombre de cas, qu'elles soient, en cet état, directement acceptées par le consommateur. Pour les autres, commencera la série des transformations, qui auront pour effet d'amener ces substances à des conditions marchandes. Il semble donc, à cet égard, que le programme que nous nous étions posé, doive être considéré comme épuisé, et que toute la suite des opérations ultérieures appartienne à la métallurgie. A proprement parler, en effet, ce qu'il nous reste à parcourir n'est qu'une annexe, et non plus une partie intégrante de l'art des mines. Cependant l'usage a toujours rattaché, à l'étude de l'exploitation souterraine, celle de la

préparation mécanique des minerais (¹), et l'on en peut indiquer plusieurs motifs.

La première partie des manipulations que doit subir le minerai, diffère, en effet, essentiellement de celles qui lui succéderont, pour constituer la métallurgie proprement dite. Cette dernière science emploie, comme agent principal, la chaleur, tandis que l'ensemble qui va nous occuper, fait uniquement appel aux forces mécaniques.

En second lieu, les opérations métallurgiques seront souvent exécutées par un personnel distinct de celui de la mine, et en un lieu différent. La préparation mécanique, au contraire, s'effectue, en général, sur le carreau même du puits, où elle se combine étroitement avec le service de l'extraction. Pour cette raison, elle appartient alors au même groupe d'ingénieurs, et reste soumise à la même direction supérieure.

Il s'attache, en effet, un grand intérêt à ce que cette élaboration précède le transport à la fonderie. Son but essentiel est la *purification* des matières de consommation directe, telles que la houille, et l'*enrichissement* des minerais destinés à être fondus. Elle détermine, en un mot, un *départ* de la substance utile et d'une certaine quantité de matériaux étrangers, que l'extraction n'a pu éviter de fournir pêle-mêle avec elle, d'après les conditions du gisement et du travail. Il serait donc déraisonnable, à moins de motifs particuliers (n° 1372), de n'effectuer cette ventilation, toujours nécessaire en fin de compte, qu'après que la partie de nulle valeur aurait été grevée des mêmes frais de transport que les matériaux utiles.

(¹) Callon. *Cours d'exploitation des mines*, tome III relatif à la préparation mécanique, rédigé par M. l'ingénieur des mines Boutan. — Huet et Geyler. *Mémoire sur l'outillage nouveau et les modifications apportées dans les procédés d'enrichissement des minerais*, Paris, 1866. — Clerc. Théorie et pratique de la préparation mécanique des minerais (*Bull. min.*, 1ʳᵉ, XV, 438; 2ᵉ, I, 97). — Pernolet père. Introduction à l'étude des préparations mécaniques (*Annales*, 4ᵉ, XX, 379, 535; 5ᵉ, IV, 143; IX, 281). — Habets. Rapport sur la préparation mécanique à l'Exposition de 1867 (*Rev. univ. d. m. et u.*, 1ʳᵉ, XXIII, 433). — Habets, *Rapport du jury international de l'Exposition* de 1878, groupe VI, classe 50, p. 236. — Von Rittinger. *Lehrbuch der Aufbereitungskunde*, 1867; 1ᵉʳ supplément, 1870; 2ᵉ supplément, 1873. — Gœtschmann, *Die Aufbereitung*. — Althaus. *Die Entwickelung der mechanischen Aufbereitung in den letzen 100 Jahren*. — Karl von Reytt. Die gegenwärtig üblichsten Erzaufbereitungs Methoden, und die am haüfigsten hiezu verwendeten Apparate (*Berg- und Hüttenmännisches Jahrbuch*, XXXI, 137.

Tantôt, comme pour la houille, il s'agit de masses énormes, et chaque centième rejeté représentera, par lui-même, un tonnage considérable. Tantôt, comme pour les minerais métalliques, les quantités seront moindres, mais les distances s'accroîtront, en général, d'autant plus, entre le lieu de production et les points de concentration, où s'opère la fusion.

1272 — La séparation dont nous venons de parler, s'impose au métallurgiste par des raisons évidentes. D'une part, il a besoin d'une certaine teneur limite de l'élément utile, pour pouvoir fondre économiquement, et il y faut amener préalablement les minerais qui, sans être trop pauvres d'une manière absolue, ne présentent pas directement ce degré de richesse. Au-dessous de ce point, en effet, la valeur du charbon brûlé pour liquéfier les matières étrangères, écraserait le bénéfice ; de plus ce bain surabondant de laitiers ou de scories, retiendrait et entraînerait une quantité proportionnelle de la substance à extraire. L'enrichissement ne sera limité que par l'écueil d'occasionner, en sens inverse, des frais de préparation, et des pertes sur la substance utile, excédant l'avantage corrélatif réalisé à la fonderie [1].

Non seulement le minerai renferme presque toujours des substan-

[1] De telles opérations sont toujours délicates. Elles supposent la connaissance d'éléments souvent mal connus, et susceptibles de variations qu'il est assez difficile de suivre, comme la perte dans le stérile, ou celle à laquelle donneront lieu les opérations métallurgiques, d'après la teneur réalisée par la préparation mécanique. Il s'y rattache, en outre, d'autres considérations plus vagues encore, telles que les préférences, ou les répugnances du commerce à accepter les matières, suivant leur conditionnement. Indépendamment du secours du calcul, le tact personnel de l'ingénieur aura donc à intervenir, pour trancher ces questions. Les calculs eux-mêmes pourront devenir assez compliqués, et prendront des formes variables suivant les cas. Je me bornerai, pour fixer les idées, à envisager ici, avec Callon, le plus simple de tous.

Nous supposerons qu'il s'agisse uniquement de séparer, de la houille, un schiste absolument pierreux, et ne contenant pas de matière charbonneuse en quantité appréciable. Soient, en francs, v la valeur d'une tonne brute, et V celle d'une tonne lavée ; c la proportion de cendres rapportée à l'unité dans le charbon brut, et C dans le combustible marchand. Les valeurs v et V étant proportionnelles aux quantités $1 - c$ et $1 - C$ de carbone renfermées dans ces deux types, le consommateur peut payer un prix égal, et *a fortiori* un prix inférieur, à celui qui est déterminé par l'équation :

$$\frac{V}{1 - C} = \frac{v}{1 - v},$$

(*Suite* p. 678).

ces inutiles, mais il en peut présenter de nuisibles, ce qui augmente

d'où l'on déduit :

$$(1) \qquad V \leqq \frac{1 - C}{1 - c}\, v.$$

Il y gagnera, en outre, d'avoir un combustible d'un plus grand pouvoir calorifique, nécessitant des nettoyages de grille moins fréquents, et n'obligeant pas, dans les applications métallurgiques, à fondre autant de matières étrangères.

Le producteur, de son côté, se placera au point de vue suivant. Appelons L les frais de lavage par tonne de houille épurée, et T le prix du transport de la tonne depuis le puits jusqu'au lieu de vente. La tonne, pour pouvoir se vendre V sur ce point, vaut seulement V — T au carreau de la mine; et, par suite, la quantité de tout-venant qui lui a donné naissance, V — T — L, puisqu'elle doit supporter la dépense L pour arriver à représenter V — T. Si d désigne proportionnellement le déchet subi dans ces opérations, le poids en question de houille brute sera $\frac{1}{1 - d}$. D'un autre côté, la tonne de tout-venant, qui se paye v sur le marché, après avoir subi le transport, ne vaut que v — T sur le puits, et, par conséquent, le nombre de tonnes $\frac{1}{1 - d}$ représente la valeur $\frac{v - T}{1 - d}$. D'après cela, le producteur peut exécuter économiquement la préparation, si le prix marchand V, qu'il obtiendra pour le produit, est égal, et *a fortiori* s'il est supérieur, à celui qui est déterminé par l'égalité :

$$V - T - L = \frac{v - T}{1 - d},$$

d'où :

$$(2) \qquad V \geqq \frac{v}{1 - d} + L - \frac{d}{1 - d}\, T.$$

D'ailleurs d peut se déterminer en fonction des proportions c et C de stérile, puisqu'il a été entendu que les pierres qui composent le déchet du lavage, ne contiennent aucune parcelle de carbone, et n'entrent, par conséquent, pas en ligne de compte pour constituer les quantités 1 — c et 1 — C. Une tonne brute renferme 1 — c de carbone et c de résidu, lequel est composé lui-même de la quantité d, formée de matière pierreuse séparable par le lavage, et $c - d$ de cendres finement disséminées. C'est donc le poids $c - d$ de cendres proprement dites, qui correspond, sous cette forme, au poids de carbone 1 — c. D'autre part, dans la houille lavée, il n'y a plus de pierres, mais seulement des cendres intimement mélangées, à la teneur C. C'est donc également ce poids C, qui correspond à 1 — C de carbone. En égalant ces deux expressions d'un même rapport, il vient :

$$\frac{c - d}{1 - c} = \frac{C}{1 - C}.$$

On en déduit :

$$(3) \qquad d = \frac{c - C}{1 - C},$$

et, par suite, pour substituer dans l'expression (2) :

$$\frac{1}{1 - d} = \frac{1 - C}{1 - c}, \qquad \frac{d}{1 - d} = \frac{c - C}{1 - c}.$$

alors d'autant plus l'intérêt de leur épuration. C'est ainsi que la

Si l'on effectue cette substitution, on voit que le prix V peut osciller entre les deux limites :

$$\frac{1-C}{1-c}v > V > \frac{1-C}{1-c}v - \left(\frac{c-C}{1-c}T - L\right).$$

La marge qui les sépare a pour valeur :

$$(4) \qquad \frac{c-C}{1-c}T - L,$$

et, c'est en la retranchant du maximum :

$$(5) \qquad \frac{1-C}{1-c}v,$$

que l'on obtient le minimum.

Précisons, en terminant, ces résultats par un exemple. Le résidu au feu de la houille brute, rarement inférieur à 10 0/0, atteint et dépasse 25 0/0 dans certains menus. Plaçons-nous à cette limite :

$$c = 0,25.$$

La teneur en cendres de la houille lavée est difficilement acceptable au-dessus de 10 0/0 :

$$C = 0,10.$$

On en déduit (3) pour le déchet au lavage, dans ces conditions :

$$d = \frac{1}{6}.$$

Le maximum (5) du prix marchand devient alors :

$$(6) \qquad \frac{6}{5}v,$$

et la marge (4) qui le sépare du minimum :

$$(7) \qquad \frac{T}{5} - L.$$

Pour achever de déterminer ces résultats, supposons que le prix de vente de la tonne brute, sur le carreau de la mine, soit de 10 francs, et qu'une somme égale de frais de transport vienne la grever, pour la rendre sur le marché :

$$T = 10^{fr},00.$$

Le prix de vente sur ce marché sera donc, pour la houille brute :

$$v = 20^{fr},00.$$

Le maximum (6) devient, par suite, pour le combustible lavé :

$$V' = 24^{fr},00.$$

(*Suite* p. 680.)

pyrite contenue dans la houille ronge les grilles des foyers, et que le schiste diminue son pouvoir calorifique; que la baryte gêne les réactions des gangues, et la blende les opérations des fours à plomb. C'est au métallurgiste à formuler, à l'exploitant de mines, ses propres *desiderata*, pour diriger celui-ci dans le sortissage de ses produits, d'après les exigences de la fusion. Chaque progrès nouveau de la métallurgie, de nature à permettre de traiter avec succès des minerais plus complexes que par le passé, doit être marqué par une simplification correspondante de la préparation mécanique.

Il peut arriver, enfin, indépendamment de la séparation de matières nuisibles, ou simplement inutiles, que le seul fait du classement en sortes distinctes, des diverses substances utiles que fournit le gisement, augmente la valeur marchande de l'ensemble. C'est ainsi que des minerais multiples pourront alimenter des fours de production différente, par la séparation d'éléments qui, à l'état de mélange, n'auraient donné aucun résultat satisfaisant. C'est ainsi encore que le charbon *gros* acquiert un supplément de valeur, par cela seul qu'on l'a isolé du *menu* auquel il se trouve associé dans le *tout-venant*, en vue de faciliter son emploi dans certains appareils de combustion.

§ 2

TRAVAIL A LA MAIN

1273 — *Travail au chantier.* — D'après ces divers motifs, une certaine manutention devient nécessaire. Quelquefois très simple,

Admettons pour les frais de lavage, qui varient en général de $0^{fr},25$ à $1^{fr},25$ par tonne :

$$L = 1^{fr},00.$$

La marge (7) d'oscillation du prix devient alors :

$$1^{fr},00$$

et le minimum :

$$V'' = 23^{fr},00.$$

La quantité $V - v$, dont le prix de la tonne prise sur le marché s'est trouvé augmenté, varie donc de 3 à 4 francs.

elle atteint, dans d'autres cas, la plus extrême complication. Nous y distinguerons deux divisions essentielles : le *travail à la main*, et le *travail mécanique*.

Le travail manuel comprend lui-même une première partie, qui s'effectue dans l'intérieur de la mine, au chantier, et une seconde, au jour.

La première est toujours très sommaire. Il serait mal à propos d'exiger des ouvriers que ce triage initial fût poussé à une grande perfection. Les conditions de l'emplacement, le défaut de clarté, la nécessité d'une grande activité de production, s'y opposent à la fois; et la grosseur des morceaux empêche, pour beaucoup d'entre eux, que l'on puisse juger exactement de leur contenu. Il convient, en effet, de ne pas pousser le concassage, au delà du point où les morceaux peuvent être portés jusqu'à la cheminée. Cette opération se fera plus utilement au jour. Cependant, tout ce qu'il sera possible de concilier avec ces difficultés, en ce qui concerne l'élimination du stérile, n'en sera pas moins fort utile, en dispensant de faire subir, aux matières abandonnées, les frais de roulage et d'extraction, et de supporter, en sens inverse, d'autres dépenses pour la rentrée, au chantier, d'une quantité équivalente de remblai. Quant à la limite à observer entre ces deux tendances opposées, elle est facile à formuler. On ne doit jamais hésiter à charger un fragment de nature douteuse; et il vaut beaucoup mieux s'exposer à sortir du stérile, qu'à perdre du minerai, qui a déjà contribué, pour sa part, à tous les frais de l'exploitation, et qu'il ne s'agit plus que de recueillir.

1274 — *Klaubage*. — Le travail manuel qui s'exécute à la surface, exige de bons yeux, et une certaine vivacité d'appréciation et de mouvements. Pour ce motif, on y affectera des femmes, des filles, ou des gamins, beaucoup mieux que des ouvriers âgés et usés pour les travaux de force, dont la vue baisse, et donnerait de moins bons résultats. Ces derniers trouveront un emploi plus judicieux à l'intérieur, dans des postes de rallumeurs, de portiers, etc., auxquels conviendrait beaucoup moins la légèreté des jeunes garçons. L'atelier de travail à la main est toujours surveillé par un contremaître expérimenté.

Les opérations qui s'y pratiquent sont de deux sortes, et comprennent : 1° le *klaubage* [1], simple triage que l'on effectue en maniant, et inspectant les fragments dont le volume le comporte [2] ; 2° le *scheidage* [3], ou triage au marteau, dans lequel la classification s'accompagne d'une fragmentation à la main.

Le klaubage, comme du reste chacun des genres de sortissage [4], qui figurent dans l'ensemble de la préparation mécanique, a pour but essentiel de séparer les matières en trois catégories : 1° une sorte définitive, que l'on appelle le *fini*, ou le *bon à fondre ;* 2° un autre produit, définitif aussi, et immédiatement rejeté, nommé le *stérile*, ou le *déchet* [5] ; 3° une classe intermédiaire, trop hétérogène pour être acceptée comme définitive, trop mélangée de substance utile pour que l'on puisse songer à l'abandonner. Cette dernière est, dès lors, réservée pour des opérations ultérieures. Elle porte les noms de *mixte*, *mélange*, *mélangé*, *matière à retraiter*. C'est ce que nous exprimerons par ce tableau fondamental :

(1) { BON A FONDRE,
MATIÈRE A REPASSER,
STÉRILE A REJETER.

Ce type essentiel admet cependant certaines modifications. On conçoit d'abord, qu'au bout d'un nombre suffisant de semblables opérations, que l'on a tout intérêt à restreindre le plus possible, il

(1) *Klauben*, trier.

(2) Cette limite est impossible à préciser d'une manière générale. Elle dépend de la manière d'être, et de la valeur des minerais. Pour la houille, par exemple, le triage à la main s'effectue avantageusement sur le refus des cribles de quarante millimètres, en général.

(3) *Scheiden*, séparer.

(4) Sauf le classement par volume.

(5) On doit suivre, avec un soin attentif, au moyen d'essais nombreux du laboratoire, les variations que peuvent éprouver, dans leur teneur en substance utile, les matières rejetées. Il suffit évidemment, pour qu'il y ait intérêt à les soumettre à de nouvelles opérations, que la valeur de la quantité qu'elles permettront de retirer, puisse couvrir les frais spéciaux de cette élaboration, en laissant de côté toutes les dépenses afférentes à l'exploitation, déjà supportées, par hypothèse, dans des conditions économiques. Ces pertes sont toujours considérables. Les chiffres de 20 0/0 et même de 40 0/0 du minerai utile n'ont rien d'exceptionnel. Ces déchets sont, en outre, difficiles à apprécier, car ils se trouvent noyés dans une énorme quantité d'eau et de matière stérile.

faille en arriver à conclure, au lieu de réserver encore une matière à retraiter sur de nouveaux appareils. Il y aura donc nécessairement, au terme de chacun des embranchements, dans lesquels se sera divisé le courant général des produits, une opération *finale*, distincte du type *normal*, en ce qu'elle manque du terme intermédiaire, et se formule de la manière suivante :

(2) { BON A FONDRE,
STÉRILE A REJETER.

L'esprit conçoit également la possibilité d'élaborations, qui auraient pour résultat de séparer seulement un bon à fondre, d'une matière à retraiter, sans en détacher du premier coup un stérile proprement dit ; ou inversement, ce qui sera plus fréquent, d'évacuer de suite une certaine proportion de stérile, sans s'attacher encore à isoler nettement un bon à fondre.

En même temps que ces trois types binaires, qui constituent des simplifications de la formule ternaire, il peut arriver, inversement, que l'on sépare les uns des autres, sur un même appareil, plusieurs bons à fondre distincts, ou plusieurs mixtes destinés à des traitements différents, d'un stérile qui sera porté à la halde. De là des types plus complexes et plus rares, car de telles séparations sont plus difficiles à réaliser, quoique très utiles, quand on peut les réussir.

Or, le klaubage sera précisément l'un des modes de travail qui se prêteront le mieux à ces combinaisons multiples, puisque ce genre de triage, au lieu de résulter de l'action automatique d'une machine, est effectué par un agent doué d'intelligence et d'attention. On pourra, par exemple, isoler à la fois divers bons à fondre de galène, de blende, ou de pyrite cuivreuse [1]; ainsi que des mélanges de ces substances avec des gangues distinctes de calcaire, de baryte, de spath-fluor, de quartz, etc. La grosseur elle-même intervient, jusqu'à un certain point, dans ces appréciations, et toutes

[1] En général, on isole, dans une sorte à part, les cuivres pyriteux et les cuivres gris, comme à Ems et à Holzappel (Laurenburg). Au Bleyberg, le conditionnement comprend le galéneux riche et le blendeux riche, le galéneux pauvre et le blendeux pauvre ; etc.

ces catégories serviront à l'exploitant pour la suite du traitement, ou au métallurgiste pour composer ses lits de fusion.

1275 — Le klaubage est pratiqué sur des *tables fixes*, ou des *tables mobiles*. Parmi les tables fixes, on distingue les *tables rondes*, et les *tables rectilignes*.

Pour des minerais métalliques un peu complexes, les klaubeurs, femmes, filles, ou gamins, sont assis autour d'une table ronde, partagée en stalles, dont chacune est affectée à une personne. Une trémie centrale sert à l'alimentation. Des trappes permettent, à chaque trieur, de s'en attribuer la quantité qu'il juge convenable. Il l'étudie à loisir, extrait les morceaux destinés à constituer ses diverses sortes, et balaye le reste dans un panier, avant de reprendre un nouveau chargement.

Pour des matières simples, telles que la houille, on se sert de couloirs en tôle pleine, ou à grille, présentant une inclinaison telle que les fragments s'y tiennent en équilibre, mais avec une très grande facilité à glisser sous l'action de la pesanteur, lorsqu'on les y sollicite à la main, ou à l'aide de secousses. A cet effet, le plâtre du puits se trouve relevé, au moyen d'estacades, au-dessus des wagons du chemin de fer, à un niveau suffisant pour que cette hauteur puisse être rachetée par le développement des plans inclinés de triage. Des nettoyeuses se tiennent sur les deux bords, attentives aux matières qui descendent sous leurs yeux, et que les culbuteurs renouvellent incessamment, à la partie supérieure de ces couloirs. Elles saisissent les pierres qu'elles aperçoivent, et en remplissent des corbeilles. Ce travail leur est payé d'après le nombre de paniers de schiste, qu'elles séparent du combustible.

Une certaine inégalité résulte de ce dispositif, en ce que les klaubeurs installés à la tête du plan incliné, rencontrent plus de choix que ceux qui se trouvent à la partie inférieure, et qui ne voient arriver à eux que les résidus du triage des premiers. Les conditions sont plus équitables, sous ce rapport, avec les tables rondes. Le même inconvénient subsiste, d'ailleurs, sur les tables mobiles dont il nous reste à parler.

1276 — Les tables mobiles se partagent encore en tables rectilignes et tables rondes.

Avec ces dernières, les nettoyeurs sont assis tout autour de la table tournante. Le tout-venant est déversé par une trémie, en un point de la circonférence; il accomplit sa rotation, en passant sous les yeux de chacun des ouvriers, puis il rencontre, en revenant au point de départ, un racloir fixe disposé en biais, qui arrête et déverse le résidu hors de la table. On reproche à ces tables, comme du reste à celles du type rectiligne, une sorte de sensation de vertige pour les trieurs, obligés de porter leur attention sur des objets mobiles, qui se dérobent incessamment, en passant d'un côté à l'autre. Mais, en revanche, on trouve, à ce principe, l'avantage de pouvoir, comme à Angleur, préposer chaque trieuse à enlever les morceaux d'une seule classe, ce qui assure plus de précision pour l'opération; le refus final forme alors lui-même une sorte spéciale, destinée au broyage.

Quant à la forme circulaire, elle présente, sur l'autre type, cette infériorité de ne pouvoir présenter une grande circonférence, en vue d'occuper beaucoup d'ouvriers, qu'à l'aide d'un grand rayon, ce qui entraîne une grande surface, et la perte d'un noyau central important, sur lequel le triage ne saurait atteindre. En outre, de telles tables ne peuvent se grouper les unes à côté des autres, sans perdre encore beaucoup de place dans leurs intervalles.

Les tables rectilignes s'établissent, au contraire, sur la largeur exactement convenable, avec une longueur quelconque, et s'installent facilement dans des directions parallèles, en utilisant complètement tout l'espace. Elles sont formées de chaînes de Gall sans fin, dont les maillons portent des plaques de tôle indépendantes. On emploie aussi des sparteries. Des rouleaux leur communiquent une tension suffisante, et renvoient le mouvement, du pied à la tête de la table. Les culbuteurs s'y déchargent en amont, à l'aide de trémies. Les matières se trouvent entraînées, en passant sous les yeux de trieuses assises sur deux files parallèles. A l'extrémité, la toile de nettoyage se dérobe, et le combustible épuré tombe dans le wagon préparé pour le recevoir.

M. Reumeaux a introduit, dans ce dispositif, un perfectionne-

ment très important, au moyen de l'emploi des *vitesses différentielles*. Le distributeur est lui-même une chaîne sans fin (fig. 820). Ce qu'il amène, et ce que la toile de nettoyage reçoit pendant l'unité de temps, étant, pour chacun de ces deux organes, le produit de la vitesse par l'épaisseur sous laquelle les matières s'y disposent, et par la largeur, qui est constante, on voit que l'on peut, d'après la variation du rapport de ces vitesses, arriver très facilement à régler avec précision la hauteur du lit de triage, et à la réduire à la limite la plus favorable pour le nettoyage, afin que celui-ci puisse s'opérer complètement sur le moins de longueur possible, de manière à diminuer l'encombrement.

Dans les mines métalliques, indépendamment des sortes définitives bonnes à fondre ou à rejeter, le klaubeur a soin de distinguer, parmi les matières à retraiter, d'une part les fragments sur lesquels des masses homogènes se trouvent juxtaposées dans de telles conditions, qu'un coup de marteau, donné avec intelligence, puisse utilement les séparer les unes des autres, et, d'un autre côté, ceux qui présentent une dissémination confuse. Ceux-ci vont à l'atelier mécanique, tandis que les premiers passent au scheidage.

1277 — *Scheidage*. — Les outils du scheideur comprennent : 1° des massettes en fer de $1^{kg},50$ à $2^{kg},00$, dont le manche, en frêne, a environ $1^{m},10$ de longueur, et d'autres fois moins; 2° des marteaux aciérés de $1^{kg},00$ à $1^{kg},20$ qui, selon la nature du minerai, présentent une panne carrée, un tranchant, ou une pointe (fig. 739 à 748); 3° des raclettes destinées à gratter les morceaux, pour en détacher les mouches riches à l'état de menu, quand elles ont trop peu d'importance pour constituer un éclat distinct (fig. 749, 750).

Les ateliers de scheidage étaient autrefois absolument sacrifiés. Aujourd'hui l'on s'attache à procurer, aux ouvriers, les meilleures conditions possibles, autant par humanité que pour obtenir, par cela seul, de meilleurs résultats. La salle doit être très éclairée. L'atelier est clos, couvert, chauffé en hiver. On attribue, à chaque scheideur, un espace suffisant pour l'emplacement de ses divers paniers.

Les ouvriers sont assis devant des tables épaisses, portant de petites enclumes, placées au centre de grilles, sous lesquelles passe un courant d'eau dans l'épaisseur du bois. Il entraîne les matières

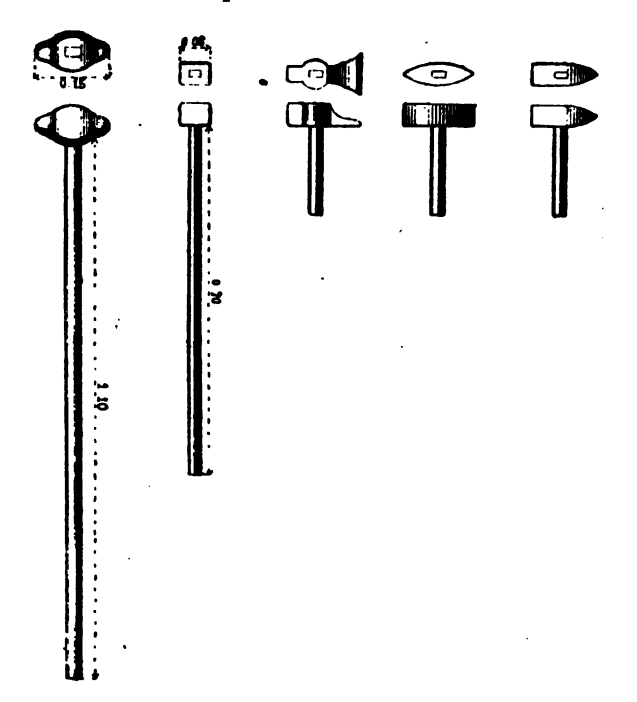


Fig. 739 à 748. Massettes et marteaux du scheideur (plans et élévations).

fines, où se concentrent souvent les parties les plus riches. Ces menus sont recueillis avec soin, et engagés dans la série des opérations mécaniques. Quant aux fragments proprement dits, le scheideur les classe suivant les mêmes principes que le klaubeur.

Fig. 749, 750. Raclette du scheideur (élévations antérieure et latérale).

Il est rationnel de faire prédominer, quoiqu'en gardant une juste mesure, le scheidage sur le broyage mécanique. Le premier, en effet, effectué avec intelligence, ne séparera les blocs qu'au degré nécessaire, ce qui déterminera moins de menu, et, par suite, de perte; tandis que les machines, ne pouvant opérer que d'une manière uniforme sur des fragments pourtant variés, dépasseront souvent le nécessaire. Telle était la tendance franche-

ment accusée des anciens traitements, où le scheidage était poussé aussi loin que possible. Il a fallu beaucoup en rabattre, en raison du renchérissement de la main-d'œuvre. Il convient de dire, d'ailleurs, que les perfectionnements apportés, en dernier lieu, au travail mécanique, sous le rapport de la précision, contre-balancent, dans une certaine mesure, l'inconvénient qui vient d'être signalé.

§ 3

TRAVAIL MÉCANIQUE

1278 — La formule du travail mécanique, ne diffère pas, quant au but de chacune de ses opérations, de celle que nous avons définie plus haut (n° 1274). Elle consiste à soumettre une substance proposée à une action déterminée, qui, en sollicitant diversement les fragments de différentes natures, les classe en trois catégories, suivant le type fondamental (1). La supériorité du principe mis en œuvre, ainsi que de l'appareil destiné à le réaliser, s'apprécieront d'après la pureté du bon à fondre, l'extrême pauvreté du stérile, le resserrement de la matière mixte à retraiter.

En ce qui concerne cette dernière, une pratique fâcheuse consistait autrefois à insister longuement dans une voie identique, en la repassant plusieurs fois de suite sur le même appareil. Cette tendance manque de logique en général [1], car (si l'on excepte un certain nombre de grains, sur lesquels l'action séparatrice n'aura pu s'exercer, paralysée par quelque fâcheux hasard), pour la plupart des fragments, la compensation qui s'est opérée sur eux entre les antagonismes mis en jeu, n'a aucune raison de ne pas se reproduire. Un second traitement, opéré d'après des données identiques, ne réussira donc pas mieux que le premier, de telle sorte que, en persévérant dans cette voie, au lieu d'avancer directement vers un but défini, l'on piétinera sur place.

Il serait donc rationnel, en thèse générale, et sauf les tempéra

[1] Nous rencontrerons des cas particuliers, où elle se justifie par des motifs spéciaux.

ments que nous apporterons plus tard à ces formules trop absolues. destinées à jeter de premières lueurs sur cette question si complexe, de changer, aussi complètement que possible, de principe classificateur, pour retraiter les résidus d'une précédente opération. afin d'en solliciter les divers fragments dans des conditions, qui ne soient plus identiques pour tous, comme ils l'ont été la première fois.

Mais cette ressource elle-même serait bien limitée, car nous ne constaterons que trop facilement combien sont peu nombreux ces principes vraiment distincts. On se trouverait donc bientôt désarmé, pour certaines séparations, s'il ne restait une ressource évidente et décisive, celle de *dénaturer* les morceaux par le broyage. Par cette fragmentation, l'on détruira les associations de minéraux que le hasard avait ménagées sur chaque grain, et d'où résultaient les compensations irréductibles, contre lesquelles on s'était heurté. On aura alors affaire à une matière toute nouvelle, sur laquelle pourront s'exercer de nouveau, fructueusement, les mêmes principes de classement, sauf à tenir compte, pour leur application, de l'influence considérable, qu'exercera nécessairement la diminution du calibre des grains.

On recommencera donc une série de classifications, et si elle arrive encore à se trouver paralysée, un nouveau broyage pourra remettre le traitement en marche. Si donc nous réduisons à sa plus simple expression cette formule abstraite de la préparation mécanique, envisagée dans son ensemble, nous voyons qu'elle se réduit à une succession appropriée d'opérations distinctes, se rattachant à un double type : *classifications* et *broyages*. La classification est par elle-même le but définitif de l'opération, et le broyage s'introduit ici avec une double destination : remettre en mouvement la marche normale des classifications quand elle a fini par s'enrayer, ainsi que nous l'avons vu, et en même temps concourir à cette séparation finale des espèces minérales par la destruction des forces de cohésion qui retiennent, indûment réunis, les éléments destinés à prendre les directions opposées de la halde ou de la fonderie.

L'étude du travail mécanique comprendra donc deux parties : celle du broyage et celle des classifications. La première, étant plus

limitée, sera étudiée en premier lieu et formera l'objet du paragraphe suivant.

1279 — Quant à la séparation, ou classification, nous en rattacherons toutes les modalités à six principes essentiels.

Un premier genre de conditionnement ne porte que sur la grosseur même des fragments, sans aucune considération de leur composition minéralogique. C'est ce que nous appellerons le *classement de volume*. Il se présente le premier dans l'ordre rationnel, car c'est lui qui, de tous, pénètre le moins dans le cœur de la question. Le but final, est en effet la séparation des espèces, et le présent mode n'y a aucun égard. Cependant son importance est de premier ordre, et pour deux motifs. D'abord, parce que nous avons vu (n° 1272) que, dans un certain nombre de cas, où la matière est suffisamment homogène, l'association des fragments d'après leur grosseur constitue à elle seule tout le traitement. En second lieu, parce que, pour des raisons qui se présenteront à nous en temps et lieu (n° 1306), le classement de volume forme un élément indispensable de réussite pour les méthodes les plus délicates de séparation, hors duquel on ne rencontre que confusion et imperfection des résultats. Cette catégorie d'opérations réclamera donc toute notre attention, et nous lui consacrerons le dernier paragraphe du présent chapitre.

1280 — Nous rencontrons ensuite l'emploi de l'eau, qui tient dans l'ensemble une place si prépondérante que l'expression de *lavage* est devenue, pour l'usage, en quelque sorte synonyme de celle de préparation mécanique. Cette influence s'exerce, dans la pratique, suivant quatre modes différents.

Une première action, grossière et très confuse, mais indispensable dans beaucoup de cas comme préliminaire, porte le nom de *débourbage*. On y fait intervenir la force brutale d'un courant, pour dissocier les grains aglutinés par l'argile, entraîner les boues, et décaper les surfaces solides, de manière à rendre le gros appréciable pour le klaubage, et à dégager les grenailles des limons, qui entraveraient la netteté des opérations ultérieures. La descrip-

tion du débourbage ne méritera donc pas de nous arrêter longuement. Elle n'a aucun rapport avec les théories délicates de l'enrichissement[1]; et comme, d'ailleurs, elle doit naturellement précéder toutes les autres opérations, nous l'envisagerons immédiatement après le broyage, et avant le classement de volume, en lui consacrant le paragraphe 5 de ce chapitre.

Nous examinerons ensuite, avec le secours du calcul, l'opération du *criblage à la cuve* et les nombreuses variantes qui se sont successivement introduites dans sa réalisation. On désigne sous ce nom l'influence exercée par la résistance d'un milieu liquide au mouvement des grains. Ce sujet présente une telle importance, qu'il occupera à lui seul la totalité du chapitre LII.

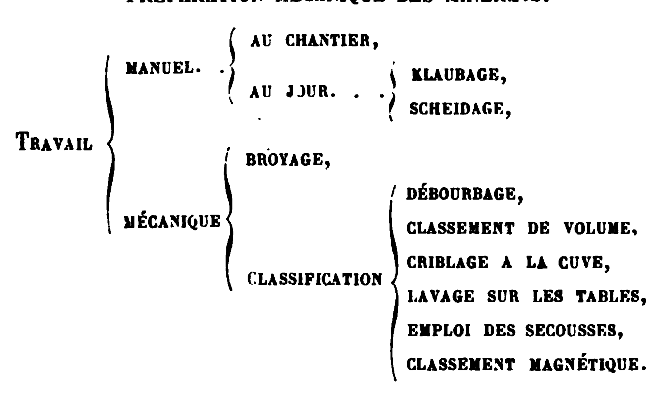
Vient ensuite le *lavage sur les tables*. On y réalise un antagonisme d'une autre nature, entre l'action d'un courant, devenue motrice pour le grain, et la résistance opposée par le frottement qu'il éprouve, de la part d'une surface solide sur laquelle il se traîne.

La quatrième forme de l'application de l'eau consiste dans l'*emploi des secousses au sein du liquide*, lesquelles apportent une profonde modification aux résultats des procédés précédents.

Nous terminerons enfin par l'emploi, naturellement très restreint, mais fort intéressant, du *classement magnétique*, pour séparer de tous les autres corps celles des substances minérales qui sont attirables à l'aimant. Ces trois derniers modes de classification se partageront les trois paragraphes, dans lesquels se décomposera le chapitre LIII.

Si donc, avant de nous engager dans les détails, nous résumons ce premier aperçu du champ d'études que nous présente la préparation mécanique, nous pourrons le formuler par le tableau suivant :

[1] Les quatre opérations que nous allons mentionner après celle-ci, à savoir le criblage à la cuve, le lavage sur les tables, l'emploi des secousses, et le classement magnétique, sont souvent réunis sous la dénomination de *procédés d'enrichissement*, par opposition à l'expression de *classement*, que l'on réserve, dans ce cas, pour désigner spécialement la classification par volume. A ce point de vue, on dit alors que la préparation mécanique, que nous avons réduite à deux termes fondamentaux (n° 1278), en comporte trois : le broyage, le classement, et l'enrichissement.



Lorsque nous aurons ainsi étudié en eux-mêmes les divers moyens mis en œuvre, il nous restera à indiquer quels sont les enchaînements de principes, les associations d'opérations, les successions d'appareils qui conviennent le mieux, suivant les cas généraux qui peuvent se présenter dans l'application, pour conduire, le plus directement possible, au but proposé, en un mot l'organisation d'un atelier; ce sera l'objet du dernier chapitre de ce cours.

§ 4

BROYAGE

1281 — *Généralités.* — L'opération du broyage s'exécute dans deux circonstances distinctes, la plupart du temps pour dissocier les minéraux dissemblables qui se trouvent juxtaposés ; et parfois simplement pour diminuer, en vue des convenances de la consommation, le calibre des fragments d'une matière homogène.

Le broyage ne doit être effectué que dans la mesure du nécessaire. On séparera immédiatement, du reste de la masse, les morceaux pour lesquels il est inutile de pousser plus loin la subdivision. La fragmentation s'accompagne toujours, en effet, de la formation d'une certaine quantité de menus et de poussières. Or, d'une part, ce sont ces produits qui donnent lieu à la perte la plus notable dans le lavage, et, d'un autre côté, c'est précisément parmi eux, ainsi

que nous avons déjà eu occasion de le dire (n° 1277), que se concentrent souvent les espèces les plus précieuses, en général tendres et clivables.

Il suit immédiatement de là, que l'on ne doit pas s'attendre à rencontrer un broyeur déterminé qui soit *à priori* préférable à tous les autres et destiné à les faire disparaître de la pratique courante; mais, au contraire, une série, rationnellement échelonnée, d'appareils répondant à des convenances distinctes. C'est seulement dans le ressort de chacune de ces catégories que trouveront place les perfectionnements capables d'assurer la supériorité d'un appareil sur les autres.

1282 — On doit distinguer, dans cette série ([1]), au moins trois termes principaux : 1° les dégrossisseurs, 2° les concasseurs 3° les pulvérisateurs.

Le dégrossisseur s'attaque, comme l'indique son nom, aux plus gros morceaux, qu'on lui livre isolés ou pêle-mêle avec le tout-venant. On peut indiquer, comme type de cette catégorie, la machoire américaine.

Les concasseurs agissent, en général, sur une matière déjà calibrée, qu'ils doivent réduire à des dimensions moindres. On obtient, avec les cylindres, du gros, et de fortes grenailles. Le bocard fournit de petites grenailles ou de gros sables. Mais l'affectation spéciale de ces deux organes fondamentaux se lie plus étroitement encore à la nature minéralogique des matières. On distingue ces dernières, à cet égard, en *minerais de bocard* et *minerais de cylin-*

([1]) Indépendamment des broyeurs, dont la description détaillée trouve ici sa place, je citerai encore les suivants : Triturateur Anduze (*Comptes rendus de l'Académie des sciences*, LXXXII, 956). — Désintégrateur Carter (*Engineering*, 1876, 129, 231). — Broyeur Dejardin (*Rev. univ. d. m. et u.*, 1re, XXIII, 579). — Broyeur Durand, Chapitel et Loiseau; marteaux indépendants, suspendus autour d'un axe vertical, et se disposant radialement par la force centrifuge. — Broyeur Fauconnier (*Rev. univ. d. m. et u.*, 1re, XXIII, 567). — Pulvérisateur Hignette (procédés de Soulages, in-4°, p. 13). — Broyeur Jacques (*Rev. univ. d. m. et u.*, 1re, XXII, 356). — Pulvérisateur Lucop et Cook. — Pulvérisateur Morey — Broyeur Motte et Delnest (*Rev. univ. d. m. et u.*, 1re, XXIII, 569). — Pulvérisateur Schwarzmann (Oppermann, *Annales*, 7e, XI, 278). — Pulvérisateur Thompson. — Moulins à noix. — Schranz'sche Quetschwalzenmühle in Przibram (*Berg und Hüttenmännisches Jahrbuch*, XXXI, 207). — Habermann. Desintegrator von Brusch und Hübner (*ibidem*, XXX, 261).

dres. Les substances dures et quartzeuses exigent le coup sec du bocard ([1]). Les gangues plus tendres, telles que la baryte sulfatée, la chaux fluatée, éclatent sous la pression des cylindres. Ces distinctions spéciales ne permettent donc pas de penser que le bocard doive jamais disparaître, bien qu'il ait été constamment, dans ces derniers temps, en voie de diminution devant les cylindres. Il occasionne en effet un bruit assourdissant, il fait une grande consommation d'eau, tient beaucoup de place, se règle moins nettement que les cylindres, dont l'écartement fournit un élément précis de calibrage, et donne beaucoup plus de farine ([2]).

La pulvérisation est destinée à réduire au dernier degré de petitesse, en vue de faciliter certaines réactions ([3]), le rapport de la surface d'attaque à la masse du fragment; ou encore à mettre le degré de subdivision en harmonie avec celui de l'extrême dissémination de la substance utile, comme pour les minerais sulfurés de Welkenraedt. On la réalise à l'aide de meules ou de diverses sortes de désintégrateurs ([4]). La distinction de ces deux sortes d'appareils est analogue à celle qui sépare les cylindres des bocards. Les premiers agissent par pression continue, les seconds à l'aide de chocs brisants.

1283 — *Dégrossisseur américain.* — Le fonctionnement du *crocodile*, ou *dégrossisseur américain*, est analogue à celui d'une mâchoire. On voit, à gauche de la figure 751, le plateau fixe contre lequel les matières sont comprimées par la mâchoire mobile. Celle-ci est actionnée par une machine à vapeur, à l'aide d'un genou, et

([1]) Le bocard convient particulièrement aux matières complexes, formées d'éléments de duretés très inégales. En mesurant convenablement la puissance du coup, on arrive à isoler, sans les broyer, les parties dures, par la destruction de celles qui les empâtent, ce qui facilite beaucoup la séparation ultérieure.

([2]) Il est difficile d'admettre qu'un atelier de préparation mécanique puisse se passer de quelques flèches de bocard, pour les matières particulièrement dures. Cependant celui des mines de plomb de Lintorf (Prusse rhénane), qui peut livrer, par jour, 280 tonnes de minerai lavé, ne renferme pas un seul bocard (*Engineering*, 30 septembre 1881). En revanche, l'atelier de Mechernich fait un usage exclusif de ce mode de broyage pour traiter des sables quartzeux mélangés de galène.

([3]) Telles que l'amalgamation des minerais précieux, l'action des phosphates comme amendements agricoles, le grillage des matières réfractaires à l'oxydation, etc.

([4]) Du mot anglais *disintegrator*.

de courtes bielles, munies d'articulations libres. Des charnières ordinaires seraient en effet immédiatement encrassées. Une tige à ressort est destinée à rappeler la mâchoire en arrière, quand elle n'est plus repoussée par le genou. Les matières sont versées dans la trémie. Le degré d'ouverture à la base détermine la dimension

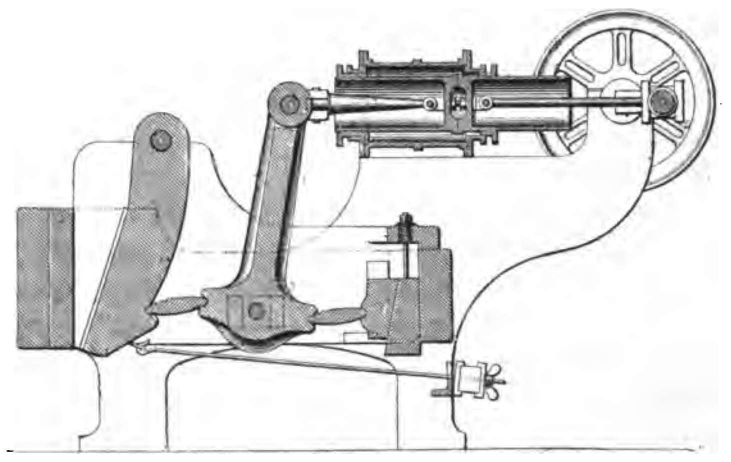


Fig. 751. Concasseur américain.

maximum des fragments qui seront fournis par l'appareil. On la règle au moyen d'un coin à vis, qui déplace le point d'appui du genou et, par suite, l'extrémité de l'excursion de la mâchoire. Il est nécessaire d'adjoindre à cet appareil un volant d'une certaine importance, pour harmoniser les irrégularités de la besogne à produire, avec les effets de la vapeur sur le piston.

On peut attaquer, par ce procédé, des matières renfermant des morceaux dont le calibre atteint 30 et 40 centimètres, et en retirer une sorte dont la grosseur maximum s'abaisse jusqu'à 1 ou 2 centimètres. Certains appareils, avec une force d'une dizaine de chevaux, et 150 tours par minute, cassent près de 80 tonnes par jour. Des broyeurs de dimensions plus ordinaires traiteront, avec 3 chevaux de force et 60 tours, une trentaine de tonnes. Cette machine remarquable s'établit entièrement en fonte, dans des conditions très robustes. Elle tient peu de place, et fait relativement peu de menu.

Dans le broyeur Huet et Geyler [1], la mâchoire mobile roule et glisse à la fois sur la mâchoire fixe. L'une des bielles est formée de feuilles de forte tôle, susceptibles de plier et de céder s'il survient, pour un instant, une trop forte résistance. L'appareil Hall renferme deux mâchoires conjuguées. Les leviers qui rapprochent l'une servent à écarter l'autre. On arrive ainsi à préparer, par jour, 150 tonnes de macadam, avec une force de 12 chevaux. On peut citer encore les mâchoires Blake, Broadbent, Burton, Marsden, etc.

1284 — *Cylindres.* — Les cylindres broyeurs (fig. 752, 753) étaient autrefois cannelés. On leur donne aujourd'hui une surface lisse, formée d'un bandage d'acier assemblé à un noyau de fonte ; ou encore, on les fait venir entièrement de fonte, en les moulant en coquille, pour donner à la surface plus de dureté. Dans les breaker de Pennsylvanie, le noyau central de chacun des rouleaux est muni de dents saillantes, qui s'enchevêtrent mutuellement de l'un à l'autre (fig. 754 à 757). On emploie, aux charbonnages des Bouches-du-Rhône, des cylindres munis de dents amovibles en acier.

On a établi dans quelques ateliers des rouleaux très légèrement coniques [2], afin que la composante latérale de la pression aide à mettre le grain en porte-à-faux, et à le faire éclater. En outre, l'usure étant légèrement oblique, on évite la tendance à la production de sillons suivant des sections droites. Sans cela, ces rainures, une fois amorcées, vont sans cesse en s'approfondissant, par l'action successive des grains, qui s'y engagent comme dans des ornières. Cette conicité doit être très restreinte [3], sans quoi il se produirait des poussées latérales, que l'on serait obligé de buter.

Autrefois, les deux cylindres qui composent un *train*, étaient reliés par un engrenage. Aujourd'hui ils se commandent mutuellement, par l'intermédiaire du minerai lui-même. L'un d'eux tourne autour d'une droite fixe ; l'autre est mobile sur un axe porté par un châssis susceptible de s'éloigner plus ou moins du premier. La distance à laquelle on le maintient, à l'aide d'un butoir

(1) Léauté (*Génie civil*, III, 408).
(2) *Annales*, 7e, XI, 268.
(3) Un centimètre, à Ammeberg, pour un diamètre de $1^m,20$.

réglé à volonté, détermine le calibre maximum de la sorte produite. Cette facilité d'écartement est nécessaire pour le passage de nodules d'une dureté exceptionnelle, qui, en refusant de se briser, malgré

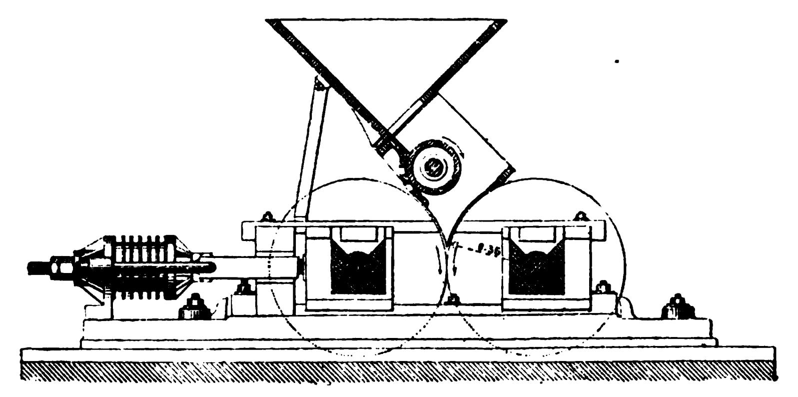


Fig. 752. Cylindres broyeurs (élévation).

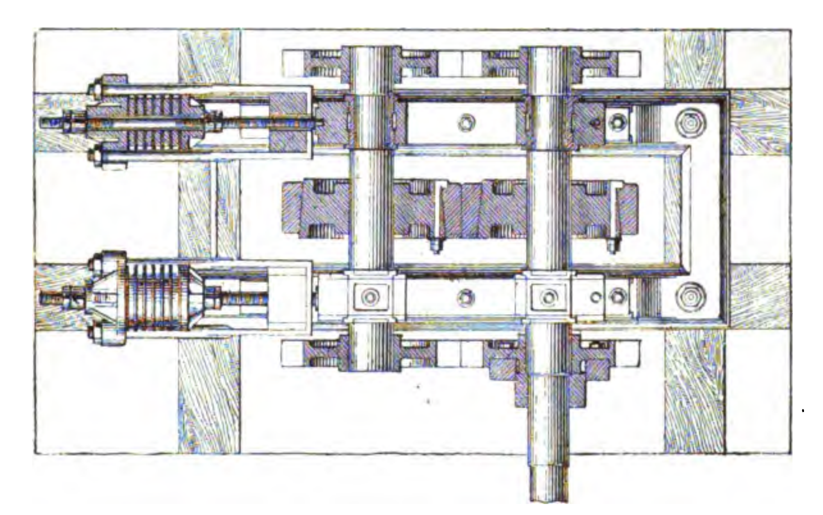


Fig. 753. Cylindres broyeurs (plan).

le coincement irrésistible qui les engage entre les cylindres, détermineraient, sans cela, une rupture. Un poids très lourd, ou mieux, un ressort analogue aux tampons de choc, ramène le cylindre mobile au contact du butoir.

La vitesse doit varier en sens inverse de la dureté, sans quoi les

morceaux dansent sur les cylindres, au lieu de s'engager entre eux (¹). Une trémie reçoit les matières à la partie supérieure, et les déverse entre les rouleaux. Il est important que leur répartition soit égalisée par un ouvrier ou d'une manière automatique, sans quoi l'on s'expose à des encombrements, à des arrêts, et à un mauvais fonctionnement. Des raclettes nettoient la surface remontante, et abattent les boues qui ont pu y rester adhérentes.

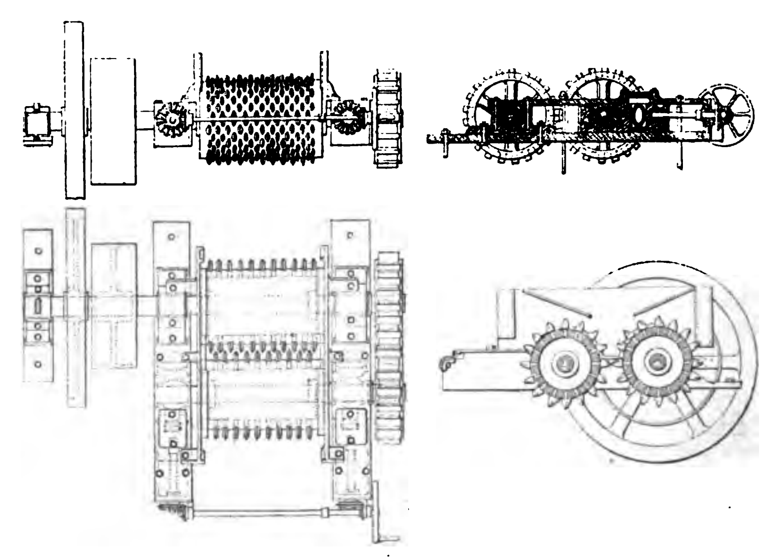


Fig. 754, 755, 756, 757. Cylindres broyeurs dentelés.

Les cylindres, autrefois longs et minces, se font de préférence, aujourd'hui, gros et courts. La longueur, assez constante, ne dépasse pas 0m,30 à 0m,40. Quant au diamètre, il se trouve en relation avec le résultat à produire, comme nous allons le faire voir.

1285 — Représentons, en effet, théoriquement le fragment à broyer par une sphère de rayon R (fig. 758), et la sorte maximum qu'il s'agit de produire, par une autre sphère de rayon r. Il faudra,

(¹) M. l'ingénieur des mines Boutan cite un exemple de la Vieille-Montagne, dans lequel des cylindres de gros, et d'autres destinés au menu, qui ne passaient respectivement que 15 et 9 tonnes par jour, à raison de 26 tours par minute, en ont traité 25 et 20, avec une vitesse de 9 tours (Callon, *Cours d'exploitation*, III, 38).

dans ce but, donner un écartement $2r$ aux cylindres, dont je désignerai le rayon par ρ. Le sens de leur rotation devra être évidemment celui qui est marqué par les flèches. Mais il ne s'ensuit pas, pour cela, que les morceaux s'engageront nécessairement entre les rouleaux. Il faut, à cet égard, que les forces F, F′ imprimées au fragment par chacun de ces deux organes, soient inclinées au-dessous de l'horizon. De cette manière, leurs composantes horizontales se calant réciproquement, pour produire la compression et l'éclatement du minerai, les composantes verticales s'ajouteront, pour l'engrener vers le bas. Dans le cas contraire, elles tendraient à le soulever, et les fragments sautilleraient sur les cylindres, au lieu de s'engager nettement entre eux.

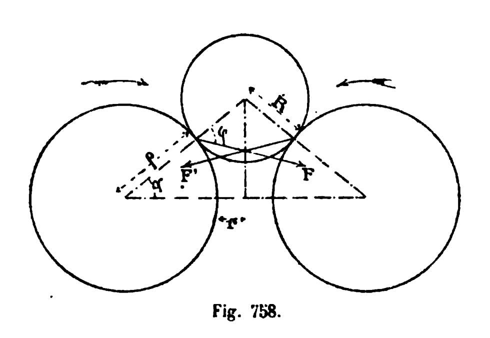


Fig. 758.

Or l'action mutuelle de deux surfaces solides en contact est disposée, par rapport à la normale commune, qui est ici la ligne des centres, sous l'angle de frottement doublement spécifique φ des deux substances. On devra donc avoir :

$$\varphi > \alpha.$$

$$\cos \varphi < \cos \alpha,$$

ou, en désignant par f le coefficient de frottement *tang* φ :

$$\frac{1}{\sqrt{1+f^2}} < \frac{\rho + r}{\rho + R}.$$

On déduit de là :

$$(1) \qquad \rho > \frac{R - r\sqrt{1+f^2}}{\sqrt{1+f^2} - 1}.$$

Telle est la condition cherchée.

Si nous désignons par m le rapport adopté pour la chute de calibre subie par le minerai :

$$r = m\mathrm{R},$$

la formule précédente deviendra :

$$(2) \qquad \frac{\rho}{\mathrm{R}} > \frac{1 - m\sqrt{1+f^2}}{\sqrt{1+f^2} - 1}.$$

Elle assigne une limite supérieure, pour le rapport des diamètres des cylindres et de la matière à broyer.

Cette expression peut se simplifier à l'aide d'une approximation bien permise dans un semblable aperçu. Nous invoquerons à cet effet la formule du binôme de Newton :

$$(1+f^2)^{\frac{1}{2}} = 1 + \frac{1}{2}f^2 - \frac{1}{2.4}f^4 + \frac{1.3}{2.4.6}f^6 - \frac{1.3.5}{2.4.6.8}f^8 + \dots$$

qui est convergente dans le cas actuel, puisque les termes sont de signes alternatifs, et que le rapport du n^e au précédent :

$$\frac{2n-3}{2n}f^2,$$

est inférieur à l'unité, attendu qu'il en est ainsi pratiquement pour f.

En l'écrivant de la manière suivante :

$$\sqrt{1+f^2} = 1 + \frac{f^2}{2} - \left\{\frac{f^4}{8} - \left[\left(\frac{1}{16}f^6 - \frac{5}{128}f^8\right) + \left(\frac{7}{256}f^{10} - \frac{21}{1024}f^{12}\right) + \dots\right]\right\},$$

on voit, puisque les termes de la série sont successivement décroissants, que la quantité renfermée dans les crochets est essentiellement positive. Si donc on réduit la suite à ses deux premiers termes :

$$\sqrt{1+f^2} = 1 + \frac{f^2}{2},$$

on commet, par excès, une erreur *absolue* moindre que $\frac{f^4}{8}$. Par exemple, pour l'hypothèse convenablement justifiée [1] :

$$(3) \qquad f = \frac{1}{3},$$

la limite supérieure de l'erreur *relative* sera :

$$\frac{f^4}{8\sqrt{1+f^2}} = \frac{1}{216\sqrt{10}} = 0,00146.$$

quantité insignifiante dans la question actuelle.

Dans ces conditions, la formule (2) devient :

$$(4) \qquad \frac{\rho}{R} > \frac{2(1-m)}{f^2} - m.$$

Elle donnera, par exemple, pour la même hypothèse (3) :

$$(5) \qquad \frac{\rho}{R} > 18 - 19m.$$

Si l'on suppose, en particulier, qu'il s'agisse de réduire le diamètre à moitié :

$$m = \frac{1}{2},$$

il viendra :

$$\frac{\rho}{R} > 8,5.$$

1286 — *Bocard.* — Un bocard [2] est constitué par une batterie de *pilons*, qui sont successivement soulevés et abandonnés par les cames d'un arbre tournant, agissant sur leurs *mentonnets*

[1] De Rittinger. *Lehrbuch der Aufbereitungskunde*, p. 27.
[2] Coignet, Notice sur les bocards américains (*Bull. min.*, 2e, IX, 853).

(fig. 759, 760). Dans le bocard de Mather et Platt, un ressort se trouve interposé entre l'arbre et le pilon. On emploie au lac Supérieur des bocards dans lesquels l'arbre est supprimé, les flèches étant soulevées directement par la vapeur, comme dans le marteau-

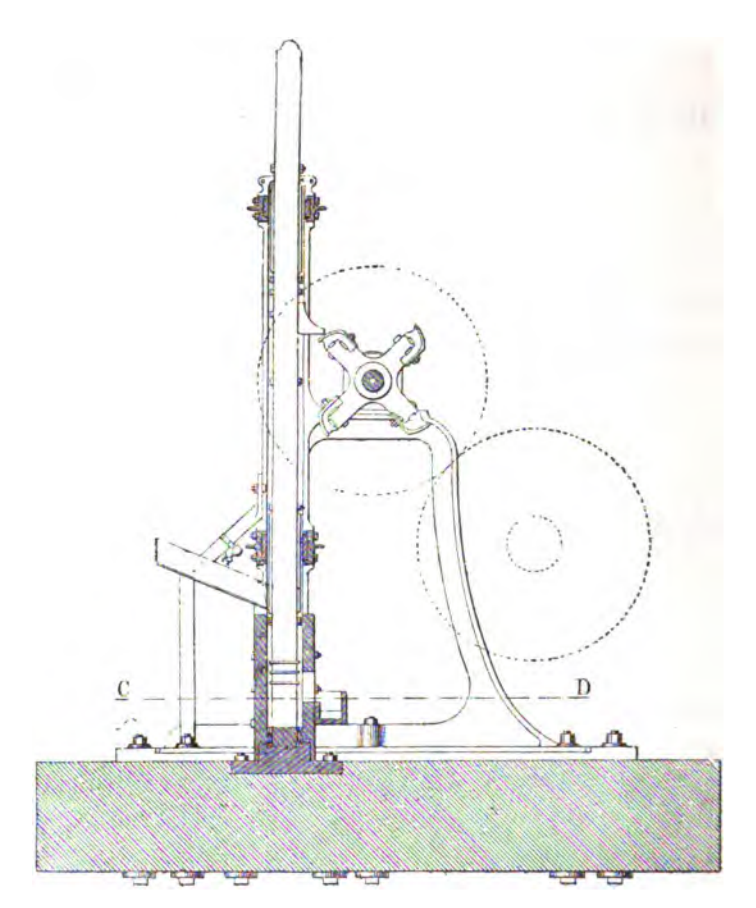


Fig. 759. Bocard de Diepenlinchen (élévation).

pilon. Dans certains bocards australiens ([1]), répandus également en Europe, le mentonnet est de forme circulaire, autour de la flèche devenue ronde. La came est alors taillée de biais. Il s'ensuit, à chaque battue, un effort transversal qui fait tourner le pilon sur

([1]) Pihet (*Bull. Soc. d'enc.*, 2e, IX, 681). — « Die Construction von Pochwerken mit « rotirenden Pochstempeln. » (*Œsterreichische Zeitschrift f. B. u. H.*, 1881, 373.)

lui-même d'un certain angle. De cette manière, cette masse tombe successivement de toutes les manières possibles, ce qui rend l'usure plus uniforme.

Il importe, du reste, que les parties destinées à la destruction la plus rapide soient distinctes du reste de l'appareil, et d'un remplacement facile et rapide. Le fond de l'*auge* où s'effectue le broyage est, à cet effet, formé d'une plaque de fonte, ou mieux d'enclumes séparées, quelquefois d'épaisses lames de quartz. La face antérieure et, dans d'autres cas, les faces latérales, sont constituées par une toile métallique ou une tôle perforée, inclinée de 70 à 75 degrés

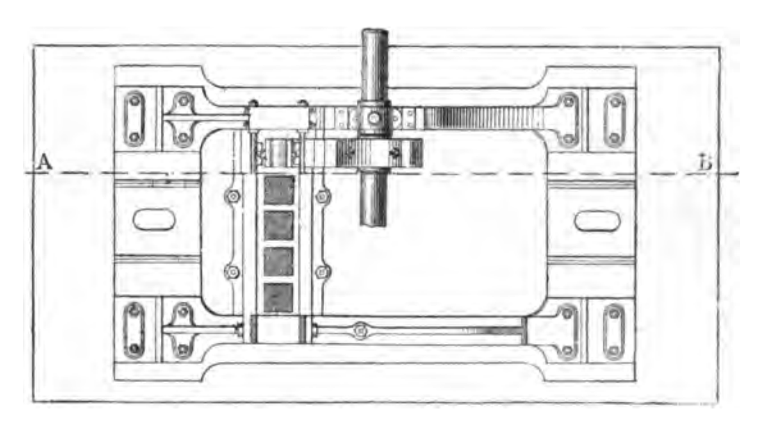


Fig. 760. Bocard de Diepenlinchen (plan).

sur l'horizon. Cette grille est destinée à laisser échapper les grenailles, dès qu'elles arrivent à un calibre en rapport avec l'écartement de ses mailles (n° 1281). Je dis *en rapport*, et non pas *identique*. Un passage aussi précis pourrait, en effet, se faire longtemps attendre, au milieu de l'agitation que subissent incessamment les grains. On donne, en général, aux mailles une dimension double du diamètre que l'on désire réaliser, dans la sorte fournie par l'appareil. On facilite, en outre, la sortie des grains, à l'aide d'un courant d'eau continu.

Le pilon se fait toujours en fonte. Il est assemblé à une tige assez longue, appelée la *flèche* du bocard. Cette hauteur est nécessaire, pour permettre de donner aux guides fixes, qui assurent le mou-

vement vertical, un écartement capable d'empêcher l'arc-boutement (¹).

L'intensité du choc est en raison de la force vive de chute, c'est-à-dire à la fois du poids de la flèche et de sa levée. Le résultat effectif ne s'apprécie cependant pas uniquement par le produit de ces deux facteurs. Un pilon léger, tombant de plus haut, donne un coup plus sec, qui brise et éclate le morceau, en produisant moins de farine. On le mène en outre lentement, pour que le courant d'eau ait le temps d'entraîner tout ce qui est arrivé au degré voulu de ténuité. Au contraire, un pilon lourd, soulevé moins haut, broie et pulvérise davantage. On arrive, dans cette voie, au *bocardage à mort*. On emploie, en général, des poids de 100 à 150 kilogrammes, dans le total desquels la flèche et le sabot figurent à peu près également. Ils sont soulevés 40 à 70 fois par minute, à une hauteur de $0^m,20$ à $0^m,30$. On a été cependant, pour des minerais d'or ou d'étain finement disséminés dans le quartz, jusqu'à 450 kilogrammes.

Le minerai est versé par un distributeur, formé d'une petite roue à ailettes, tournant au pied d'une trémie, dans laquelle on charge les matières. Le travail est surveillé par un homme, qui égalise la distribution et remue, au besoin, les minerais à la pelle, pour faciliter la sortie des grenailles dans le *bocard à la grille*. Avec le *bocard à sec*, qui est beaucoup moins employé, l'ouvrier enlève de temps en temps les sables à la pelle. Il les jette sur un crible ayant la maille voulue, et dont le refus retourne dans l'auge.

Chaque flèche de bocard exige une dépense de force motrice, qui varie, suivant les cas, de 0,5 à 1 cheval (²). La production peut se modifier également du simple au double, c'est-à-dire de 40 ou 50 kilogrammes à l'heure, pour un minerai tendre, jusqu'à 100 kilogrammes, suivant que la grille est de 1 à 12 millimètres. Elle se réduira considérablement pour des matières dures. La consommation d'eau, dans le même temps, varierait de même de 2,5 à 0,5 mètres cubes.

Les fondations doivent être soignées. Le système repose sur un massif en maçonnerie ou en béton, surmonté d'un radier en bois.

(¹) Haton de la Goupillière (*Traité des mécanismes*, p. 381).

(²) On emploie, en Californie, un petit bocard à bras nommé *the mountainer*.

Il est important, en effet, de laisser, le moins possible, la force vive se perdre dans le sol, sous la forme de mouvement vibratoire, particulièrement propre à ce genre d'écoulement. On cherche, pour cette raison, à en interférer les effets, en brisant les séries par une succession convenable des levées. Si, par exemple[1], on imagine un bocard de 15 flèches, on le répartira en trois séries de 5 pilons. Dans chaque série, on lèvera successivement les flèches impaires, puis les flèches paires. Mais les deux autres batteries intercaleront, l'une après l'autre, leurs manœuvres homologues entre celles de la première. Cette loi de succession rangera, dans l'ordre suivant, les levées des 15 flèches consécutives :

1, 10, 4, 13, 7, 2, 11, 5, 14, 8, 3, 12, 6, 15, 9;

et les cames devront s'insérer en conséquence, le long de l'arbre.

1287 — *Meules.* — Les meules appartiennent à deux types différents : vertical ou horizontal.

On distingue, dans le dispositif horizontal, la meule *gisante*, qui est immobile, et la meule *tournante*, qui se meut au-dessus d'elle. On les *repique* ou, suivant l'expression usitée, on les *rhabille*, quand les surfaces viennent à s'user inégalement.

Dans le mode vertical, la meule peut être unique, et tourne, avec son essieu, autour d'un axe vertical. Le plus souvent, on lui adjoint, pour la symétrie, une autre meule diamétralement opposée, qui accomplit sa révolution dans la même auge; quelquefois même, deux autres encore, montées sur un bras perpendiculaire au premier.

Si l'on veut opérer l'écrasement par roulement simple, *en appuyant* normalement sur les matières, on emploiera des troncs de cône ayant leur sommet sur l'axe de rotation [2]. Mais on a également recours à des meules cylindriques, dont les sections, toutes identiques, ne peuvent plus se développer également sur les cercles concentriques qui remplissent le fond de l'auge. Il se produit donc des glissements, de sens opposés dans les régions externe ou interne. La pulvéri-

[1] Coignet (*Bull. min.*, 2e, IX, 862).

[2] Haton de la Goupillière (*Traité des mécanismes*, 41).

sation se fait, d'après cela, *en tordant*, en quelque sorte, la matière sur elle-même.

On s'est encore servi de meules animées, avec leur bras, d'une simple rotation sur un axe vertical, sans l'accompagner d'une rotation relative autour de ce bras. On obtient alors un glissement simple, analogue à la *porphyrisation*.

On peut enfin rattacher au type des meules un rouleau écraseur, qui est conduit par une bielle et une manivelle, de manière à rouler en ligne droite, d'un mouvement alternatif.

1288 — *Désintégrateur Carr.* — Deux arbres horizontaux (¹) tournent en face l'un de l'autre (fig. 761). Chacun d'eux porte un

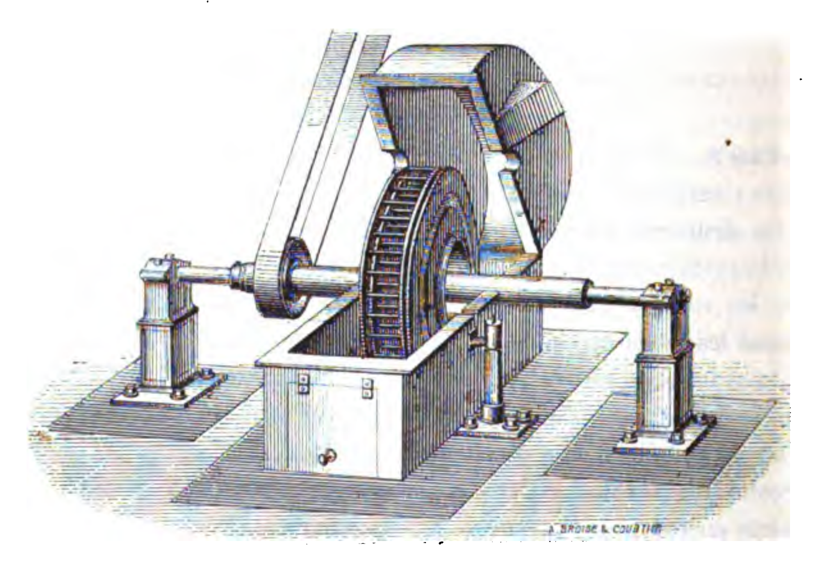


Fig. 761. Désintégrateur Carr.

plateau, sur lequel s'implante une forêt de broches, disposées suivant des cercles concentriques. Les cylindres dont elles dessinent les génératrices, pour l'un des plateaux, s'intercalent entre ceux du second, de manière à permettre, pour les deux systèmes, des

(¹) Désintégrateur Carr (*Bull. min.*, 1ʳᵉ, XV, 557). — Vialla. Emploi du broyeur Carr pour l'alunite de la Tolfa (*CRM*, 1881, 39)- — Hanrez. Broyeur Carr (*Bulletin des ingénieurs sortis de l'École de Liège*. — *Rev. univ. d. m. et u.*, 1ʳᵉ, XXVII, 623).

rotations de sens contraires et très rapides. Une trémie admet, dans la région centrale, la matière à pulvériser. Les grains, sollicités par la pesanteur, se mettent en marche vers le point le plus bas. Mais cette descente radiale se trouve immédiatement contrariée par la rencontre des broches, qui soufflettent les grains alternativement sur les deux faces. Ils s'ensuit une trajectoire compliquée, qui écarte peu à peu la matière du centre. Ces chocs multiples ont pour effet de fendre les morceaux, et de les réduire en poussière fine, avant qu'ils soient arrivés à la circonférence. Lorsqu'ils y parviennent, ils s'y trouvent retenus dans une enveloppe cylindrique, et s'accumulent à la partie inférieure, d'où ils sont évacués au dehors.

Ce mode d'action s'exerçant sur la substance, tandis qu'elle est libre dans l'espace, y détermine des brisures avec un moindre dégagement de chaleur; il opère un mélange très intime, et permet une grande production. On peut pulvériser de 12 à 15 tonnes de charbon par heure, à raison de 100 à 300 tours par minute, avec 10 à 12 chevaux de force, et des diamètres qui varient de 0^{m},90 à 1^{m},90.

1289 — *Désintégrateur Vapart.* — Ce broyeur [1] est fondé sur un principe analogue au précédent (fig. 762). Un arbre vertical porte des tourteaux échelonnés, supportant des plateaux d'un diamètre sensiblement moindre que celui de l'enveloppe cylindrique de l'appareil. On y dispose, suivant huit rayons espacés à 45 degrés, des saillies, en forme de cornières, dont la longueur s'étend au delà du plateau lui-même, au-dessus du vide

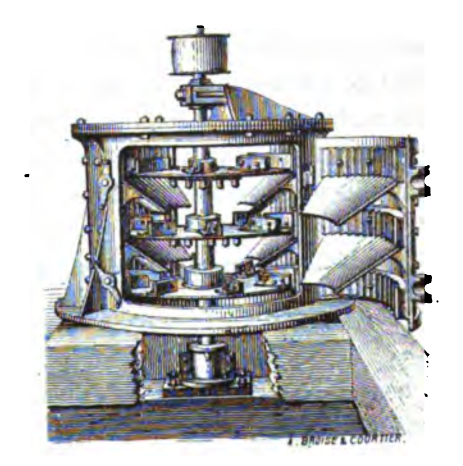


Fig. 762. Désintégrateur Vapart.

[1] *CRM*, avril 1877, 14. — Cordier. Mémoire sur le broyeur Vapart (*Bull. min.*, 2e, IX, 391). — « Separation von Mineralien mittelst Vapart's Scheidermühle. » (*Œsterreichische Zeitschrift f. B. u. H.*, 1841, 444.)

qui règne entre lui et l'enveloppe, sans cependant approcher trop près de cette dernière. Le but de cette disposition est de prolonger l'aire des chocs horizontaux, sans diminuer sensiblement celle des chutes verticales. On communique à cet arbre une rotation rapide.

Le couvercle supérieur du cylindre est percé d'ouvertures, pour l'introduction des matières. Le fond inférieur est largement ouvert pour leur sortie. Au moment où il arrive au contact du premier plateau, le grain en reçoit une action horizontale tangentielle, qui le force à s'éloigner du centre, en glissant le long de la cornière par un mouvement relatif. Quand il arrive ainsi à son extrémité, il se trouve abandonné avec une vitesse absolue oblique, qui le projette violemment contre l'enveloppe, munie de cannelures disposées sous les angles convenables pour recevoir normalement ces projectiles. Ceux-ci se brisent, et les fragments tombent sur des troncs de cône, le long desquels ils glissent vers le centre du plateau inférieur, pour y reproduire les mêmes effets.

L'appareil tourne à raison de 400 à 1000 tours par minute. Cette grande vitesse permet de passer beaucoup de matières, bien que le broyeur en contienne peu à la fois. Avec 1 mètre de diamètre, et une force de 15 à 20 chevaux, on peut broyer, par heure, une quinzaine de tonnes de pyrite, préalablement concassée à 6 ou 7 centimètres. La vitesse de rotation détermine, en outre, la force vive du grain, c'est-à-dire l'intensité du choc qui produit le broyage. On en peut obtenir l'expression à l'aide du calcul suivant.

1290 — L'élément de la trajectoire absolue a pour valeur :

$$ds^2 = r^2 d\theta^2 + dr^2,$$

si nous la rapportons à des coordonnées polaires r et θ. En divisant par le carré du temps dt, il viendra, pour la vitesse *absolue* v :

$$v^2 = \omega^2 r^2 + \left(\frac{dr}{dt}\right)^2.$$

$\frac{dr}{dt}$ représente la vitesse *relative* du grain le long de la cornière, qui tourne avec la vitesse angulaire constante ω.

Pour en obtenir l'évaluation, nous appliquerons à ce mouvement relatif le théorème des forces vives, ce qui se fera en adjoignant aux forces réelles la force centrifuge [1] $m\omega^2 r$, dont le travail élémentaire est $m\omega^2 r dr$, et le travail total $\frac{1}{2} m\omega^2 (r^2 - r_0^2)$, si r_0 marque la distance du point de départ à l'axe de rotation. Comme, du reste, les forces réelles, à savoir la pesanteur et l'action de la cornière, sont toutes les deux normales à la trajectoire relative, qui est le rayon, elles ne font aucun travail, et l'équation se réduit à :

$$\frac{1}{2} m \left(\frac{dr}{dt}\right)^2 = \frac{1}{2} m\omega^2 (r^2 - r_0^2),$$

puisque le mobile part d'un point situé à la distance r_0' sans vitesse relative $\left(\frac{dr}{dt}\right)_0$. Si donc on substitue cette valeur :

$$\left(\frac{dr}{dt}\right)^2 = \omega^2 (r^2 - r_0^2),$$

dans l'équation précédente, elle donne :

$$v^2 = \omega^2 (2r^2 - r_0^2).$$

On voit par là que l'intensité du choc, proportionnelle au carré du nombre de tours, augmente avec le rayon de la cornière, et à mesure que les matières sont données plus près du centre [2].

(1) A titre de force d'inertie du mouvement d'entraînement, lequel est une rotation uniforme. Quant à la force centrifuge composée, qui constitue la seconde force fictive des mouvements relatifs auxquels on applique les théorèmes du mouvement absolu, elle ne figure jamais dans celui des forces vives, attendu qu'elle est toujours normale à la trajectoire relative (1347, note).

(2) On peut simplifier cette formule pour les applications. En réalité, l'influence du terme en r_0 est à peine sensible, et ne modifie que très faiblement la valeur de v. Si donc nous le négligeons provisoirement, nous pourrons écrire par approximation, en appelant n le nombre de tours par minute :

$$v = \omega r \sqrt{2} = \frac{2n\pi}{60} r \sqrt{2} = \frac{\pi\sqrt{2}}{30} nr = 0{,}148\ nr;$$

ou, en altérant légèrement le coefficient numérique, pour tenir compte de l'influence

On peut également déterminer l'angle sous lequel devront être disposées les cannelures, pour être perpendiculaires à la tangente menée à la trajectoire absolue, au point où le mobile atteint l'extrémité de la cornière. L'angle α que cette tangente fait avec le rayon vecteur, est en effet donné par la formule :

$$\operatorname{tang} \alpha = \frac{r d\theta}{dr} = \frac{\omega r}{\frac{dr}{dt}} = \frac{r}{\sqrt{r^2 - r_0^2}}.$$

1291 — *Broyeur portatif Bazin.* — M. Bazin a construit un broyeur très simple (fig. 763), facile à transporter, et à faire mouvoir dans les *prospections* d'or. Cet appareil se réduit, au fond, à l'action d'un pilon dans un mortier. Seulement la manœuvre en est facilitée par un ressort, qui aide à relever le pilon, en raison de la tension que lui a communiquée le mouvement descendant.

1292 — *Emploi de la chaleur.* — Nous avons vu [1] que les mineurs ont su autrefois tirer, pour l'abatage, un utile secours de la propriété que présente la chaleur d'*étonner* les roches. On a essayé de venir en aide au broyage, et même, dans certains cas, de le remplacer par une action analogue, quoique très adoucie.

M. Biver a imaginé un débourbage à vapeur destiné à disjoindre, en raison de la différence des dilatations, les feuillets de lignite séparés par des pellicules terreuses d'une minceur extrême, répandues dans la masse du combustible. Il arrive ainsi à diminuer notablement la proportion de cendres dans les produits (n° 1272, note).

du terme en r_0 :

$$v = 0{,}15\, nr.$$

Si, par exemple, on prend une cornière de 0m,25 pour une tonne animée d'une vitesse de 500 tours, la vitesse v sera de 18 mètres. Elle serait de 36 mètres, pour une cornière de 0m,50.

Les valeurs extrêmes du diamètre de l'enveloppe sont, dans l'industrie : 0m,80 et 1m,75. Les deux exemples précédents supposent des tonnes de 1 mètre et de 1m,50 de diamètre. Il sera évidemment avantageux, puisque n et r entrent au même titre dans la formule, de forcer la longueur r des cornières, en augmentant d'autant le rayon de l'enveloppe, plutôt que la vitesse de rotation, afin de ne pas se heurter à des difficultés de graissage. Le pivot doit être refroidi avec de l'eau, quand il ne baigne pas dans l'huile.

[1] Tome I, p. 107.

M. de Soulages, d'après des vues dont il convient de lui laisser la responsabilité ([1]), admet que les minéraux associés dans les filons contiennent toujours de l'eau suivant le plan de juxtaposition. Il propose donc, après les avoir réduits en sable de 1 à 3 millimètres, de les porter à une température de 200 degrés, capable de faire éclater, par la vaporisation de cette eau, tous les plans de contact, afin

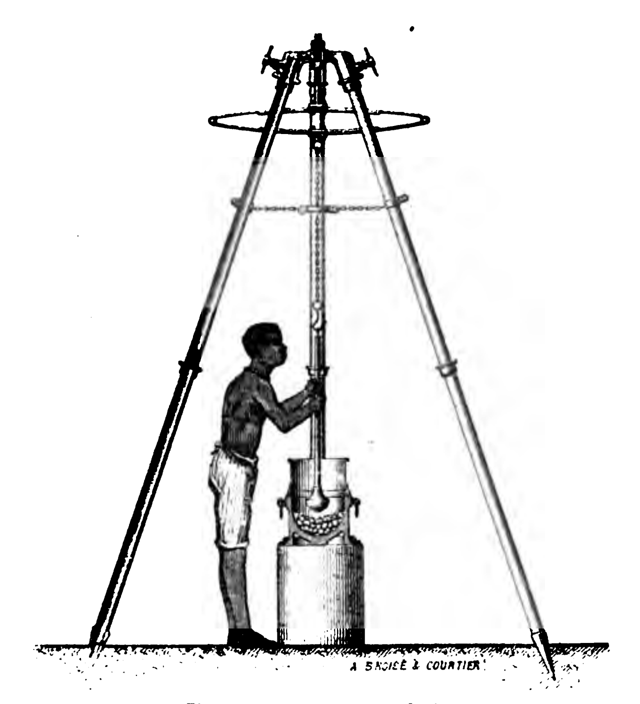


Fig. 763. Broyeur portatif Bazin.

d'arriver à disjoindre partout le minerai de la gangue, en permettant ainsi leur séparation ultérieure par les procédés d'enrichissement. L'outillage comprend, dans cette méthode, un dégrossisseur américain, une paire de cylindres, un séchoir ([2]), un trommel pour classer par volume, un classeur à vent (n° 1344) pour séparer par densité ([3]).

([1]) *CRM*, 1884, 45. — Préparation mécanique des minerais par ventilation, procédés Louis de Soulages, Paris, in 4°. 1882, p. 6.

([2]) Ce séchoir a la forme d'un cylindre tournant, légèrement conique, muni à l'intérieur d'une hélice, pour déterminer la translation des matières.

([3]) Avec les transports automatiques, le prix de revient monte à 1 franc par tonne, si l'on emploie la force hydraulique, et 2 francs avec celle de la vapeur.

Dans le traitement de certains minerais métalliques, tels que la blende d'Ammeberg (n° 1394), ou les masses cuivreuses du lac Supérieur (n° 1397) [1], on étonne les matières dans des fours à cuve, pour faciliter leur broyage. D'autres, comme les minerais d'étain [2], sont grillés dans le même but, au moyen de fours à réverbère, ou à sole tournante. Mais nous arrivons ainsi à de véritables opérations métallurgiques proprement dites, que l'on entremêle avec celles de la préparation mécanique, en vue d'apporter à cette dernière un utile concours, soit en facilitant, ainsi qu'il vient d'être dit, le broyage; soit en dénaturant, par une autre voie, les matières de lavage, comme il a été expliqué ci-dessus (n° 1278), afin de ne pas s'attarder dans des résultats toujours les mêmes; soit, enfin en déterminant, à l'aide de coups de feu convenablement dirigés, la formation de certains produits magnétiques, qui peuvent être ultérieurement isolés par l'action des aimants (n° 1370).

§ 5

DÉBOURBAGE

1293 — *Grille à eau.* — L'engin le plus simple, pour le débourbage des minerais, est une grille sur laquelle on verse le tout-venant, en l'arrosant à l'aide d'un fort courant d'eau, qui agit par entraînement sur les parties fines et légères, pour les séparer des matières pierreuses, que leur grosseur retient sur la grille. On vient en aide à cette opération par un rablage à la main, ou au moyen de secousses imprimées à la grille, pour détruire incessamment les petits équilibres et les agglutinations, qui tendent à l'entraver. Le départ du refus, ainsi décapé, est facilité par l'inclinaison que l'on donne à la grille suivant ses barreaux. Quant aux matières qui ont passé à travers ces derniers, elles contiennent encore, en même temps que la boue stérile, des parties utiles qu'on en retire dans des lavoirs à bras (n° 1294), ou des trommels débourbeurs (n° 1296).

[1] *Annales*, 7e, XI, 265.
[2] *Annales*, 7e, XIV, 237.

1294 — *Lavoir à bras.* — On désigne sous ce nom des canaux dallés, légèrement inclinés, de plusieurs mètres de longueur, sur 1 à 2 mètres de large, et $0^m,50$ de profondeur. Un fort courant d'eau traverse les matières, que l'on charge en amont. On facilite le départ des boues argileuses, en pelletant le minerai d'un bord à l'autre. Il finit par atteindre ainsi l'extrémité, entraîné peu à peu par l'action de l'eau, et on l'en retire, convenablement nettoyé. La production est considérable, mais la main-d'œuvre élevée.

1295 — *Patouillet.* — Cet appareil est principalement destiné aux minerais de fer. Il consiste en une auge hémi-cylindrique, qui présente une légère pente. Suivant son axe est disposé un arbre muni de palettes qui, par leur rotation, battent le courant boueux. Le minerai est recueilli à l'extrémité, et les troubles sont emportés par le liquide.

1296 — *Trommel-débourbeur.* — Le trommel (fig. 764), analogue au blutoir, est formé d'un prisme, ou d'un cylindre de

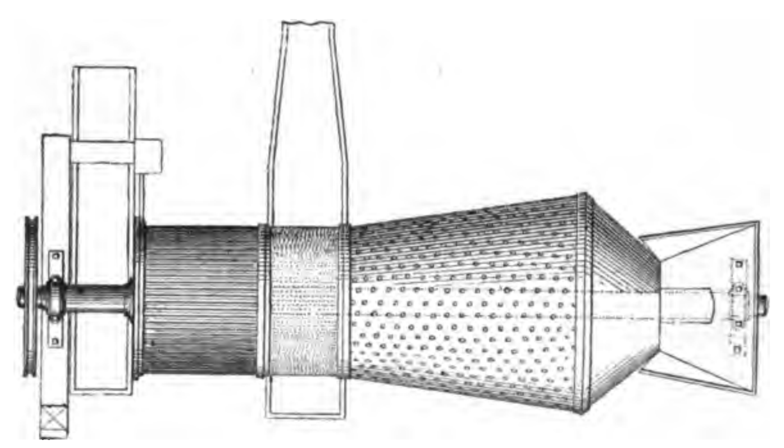


Fig. 764. Trommel-débourbeur (projection horizontale).

1 mètre à $1^m,50$ de diamètre, quelquefois évasé en tronc de pyramide ou de cône. Sa surface est formée de tôles perforées, dont les trous présentent 10 à 12 millimètres de diamètre. Le système tourne sur son axe, qui est légèrement incliné sur l'horizon. Lorsque la

matière admise à l'intérieur est très argileuse, comme les calamines de Moresnet, ou les plombs carbonatés du Rocheux, près de Spa, elle se trouve attaquée par des poignards normaux à la paroi, qui la tranchent et facilitent son délayage, tandis que le courant d'eau qui la traverse emporte les parties argileuses. Quant aux matières solides, elles ne sauraient glisser directement suivant la pente longitudinale, qui est trop faible. Mais un résultat équivalent s'obtient de la manière suivante. La rotation relève, suivant un parallèle, les morceaux fixés par leur adhérence. Ils atteignent ainsi une partie où l'inclinaison, qui finirait par devenir verticale, en allant assez loin, se trouve suffisante pour déterminer leur glissement. Celui-ci débute alors suivant la ligne de plus grande pente, qui est perpendiculaire à l'horizontale du plan tangent, et non pas à la génératrice. Les matières ne reviennent donc plus au point de départ, mais un peu plus bas, et, de proche en proche, elles finissent par gagner l'extrémité, plus ou moins lentement, suivant l'angle adopté et la longueur du trommel, qui varie, en général, de 1^{m},50 à 3 mètres. Elles subissent ainsi l'action délayante du courant. pendant un temps suffisant pour obtenir un résultat complet.

Dans le modèle représenté par la figure 764 les matières sont données par la trémie de droite, coulent sur un tronc de cône court et rapide, et remontent péniblement le trommel à poignards. Elles débouchent ensuite dans un cylindre à trous fins, qui laisse passer les troubles. Le refus s'égoutte sur une grille cylindrique, et se déverse à l'extrémité, sur le couloir préparé pour le recevoir.

Un trommel débourbeur ordinaire permet de traiter de 25 à 35 tonnes par jour, avec une consommation de 6 à 10 mètres cubes d'eau, et une force de 1 à 3 chevaux, suivant la nature plus ou moins pâteuse des matières.

1297 — *Débourbeur portatif Baye.* — Le lavage des nodules de phosphate (n°s 554, 1390), ne comporte pas, en raison du prix peu élevé de cette substance, et de sa grande dissémination, le captage de cours d'eau éloignés. Il importe, d'ailleurs, de ne pas déterminer l'ensablement et la contamination de ceux dont on dis-

pose. On peut se servir pour cette opération (¹) de fosses remplies d'eau stagnante, et d'un trommel débourbeur monté sur un train de roues (fig. 765, 766), qui va prendre les matières au chantier, et les amène à la fosse, le long d'une voie ferrée sur laquelle il descend lui-même au fond de l'eau. Quand il est immergé, on le met en rotation à l'aide d'une courroie, actionnée par une locomobile. Les poignards ont bientôt déchiré les matières agglutinées. La boue se

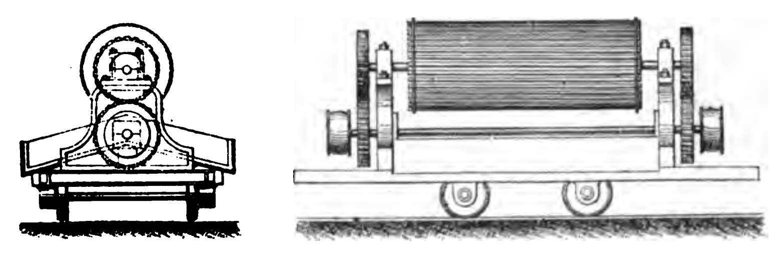


Fig. 765, 766. Débourbeur mobile Baye (coupe et élévation).

met en suspension dans l'eau, d'où elle se déposera plus tard sur le fond de l'excavation. Les gros rognons restent dans le trommel. Les plus fins se rassemblent, avec les sables stériles, dans les deux caisses latérales, où les trépidations contribuent à les classer au-dessous de ces derniers, en raison de leur densité (n° 1303). On sort alors le wagon, qui s'égoutte. En ouvrant les portières, on recueille facilement les nodules fins et on les sépare des sables, que l'on rejette sur la place de dépôt, sans qu'ils aient pour effet de combler la fosse.

§ 6

CLASSEMENT DE VOLUME

1298 — *Généralités.* — Le classement de volume n'a quelquefois d'autre raison d'être, que de répondre aux convenances du commerce. Les combustibles, par exemple, sont souvent conditionnés en deux ou trois sortes, et quelquefois un plus grand nombre (n° 1381). Ces produits portent des noms, variables avec les loca-

(¹) Haton de la Goupillière (*Bull. Soc. d'enc.*, 3ᵉ, I, 605).

lités, pour les minerais métalliques [1], aussi bien que pour les charbons [2]. Ce mode de classification constitue, en outre, un élément essentiel du bon fonctionnement des procédés d'enrichissement (n° 1306), en dehors duquel on n'obtient que des résultats plus ou moins imparfaits.

Le principe, infiniment simple, de l'opération consiste à déposer les matières sur une surface à claire-voie. La grandeur des vides détermine le calibre maximum de la sorte qui les traverse, et qui ne pourra présenter un seul grain plus gros. On ne saurait, malheureusement, dire, en sens inverse, que le *refus* de l'appareil ne renfermera pas de fragment moindre que la section des orifices. Il en devrait théoriquement être ainsi, après un criblage très soigné et indéfiniment prolongé. Mais, si l'on va vite, beaucoup de matières fines restent engagées, sans avoir pu trouver des conditions favorables à leur passage; et si, au contraire, on crible trop longtemps, l'usure reforme de nouvelles poussières. Cette circonstance ne devra pas être perdue de vue, car elle contribue à jeter quelque incertitude dans certaines opérations ultérieures.

Nous avons donc à examiner successivement dans cette étude : 1° la nature de l'organe essentiel de triage; 2° les artifices auxquels on a recours, pour assurer, autant que possible, le départ des deux catégories et atténuer la cause d'imperfection qui vient d'être signalée; 3° les dispositifs d'ensemble employés pour les appareils de classement.

1299 — *Organes élémentaires.* — L'organe de triage peut affecter trois formes différentes : la grille, le tissu métallique, la tôle perforée.

La *grille* est formée de barreaux parallèles. Leur écartement détermine assez convenablement le calibre des grains, quand la nature peu clivable des minéraux donne aux fragments une forme arrondie. Mais s'ils sont, au contraire, susceptibles de prendre l'aspect de plaques minces, ce mode de classement devient détes-

[1] Noix, noisettes, pois, grenailles, sables, schlichs, schlamms, farine, etc.

[2] Gros, grêlons, grelassons, grelats, grenettes, gaillettes, gailleteries, gailletin, gailleteux, pérat, braisette, têtes de moineaux, chatilles, dés, dragées, grenus, menus, fines, poussières, mourres, limons, etc.

table; car une plaquette de dimensions presque quelconques (sauf son épaisseur), pourra chavirer entre deux barreaux.

Le *tissu métallique* est ordinairement formé de fils de laiton croisés dans deux sens rectangulaires. Le triage est plus parfait en principe, et il échappe à l'inconvénient précédent. Cependant la maille carrée a l'inconvénient de présenter deux dimensions très différentes, suivant que les fragments se disposent parallèlement au côté ou à la diagonale. Cette dernière excède le côté, de 40 pour 100 environ. Mais un défaut, plus grave encore, consiste dans le manque de fixité de ces orifices, attendu que les fils peuvent se rapprocher les uns des autres, en laissant béantes des ouvertures plus grandes que le calibre voulu.

Les *tôles perforées* de trous ronds fournissent une solution parfaite. Le diamètre est alors un élément absolument invariable. Malheureusement cette combinaison est en même temps la plus chère. L'épaisseur des tôles reste ordinairement comprise entre $0^m,00075$ et $0^m,00300$. Elle doit, bien entendu, être suffisante pour résister au service que l'on attend d'elle, suivant le poids des matières qui y seront passées; mais il faut, en même temps, éviter l'exagération, tant pour restreindre la dépense de matière première, que pour ne pas augmenter les chances d'obstruction, en obligeant les grains à parcourir des tubes plus longs qu'il n'est nécessaire, suivant la normale à la paroi. Le rapport du plein au vide doit également être réduit autant que possible, afin d'offrir plus de chances de passage, tout en évitant un trop grand affaiblissement de la tôle.

1300 — *Moyens d'action.* — Nous avons parlé tout à l'heure de *déposer* les matières sur la surface criblante. Il s'en faut de beaucoup que l'on puisse s'en tenir là. En effet, les trous pourraient se trouver bouchés par les gros morceaux, incapables d'y passer eux-mêmes. Le hasard peut aussi arc-bouter des grains en petites voûtes, au-dessus de vides qui, sans cela, leur eussent livré passage. Enfin certaines influences agglutinantes déterminent des forces accessoires, capables d'équilibrer la pesanteur, en empêchant un fragment de se précipiter dans l'espace ouvert au-dessous de lui. Il s'agit donc de lutter contre ces diverses causes de perturbation.

Les agglutinations se rattachent toujours à un certain degré d'humidité. On peut, pour les détruire, suivre deux voies différentes : ou bien supprimer intégralement cette humidité, comme on l'a fait, dans quelques cas, par l'application de chaleurs perdues, telles que

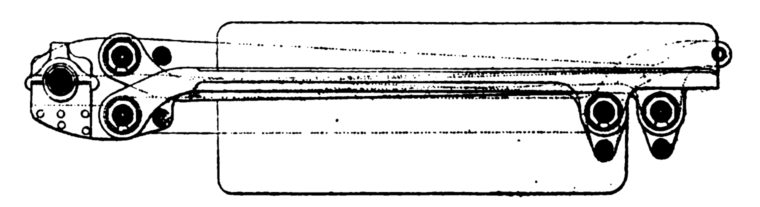


Fig. 767. Grille Briart (élévation).

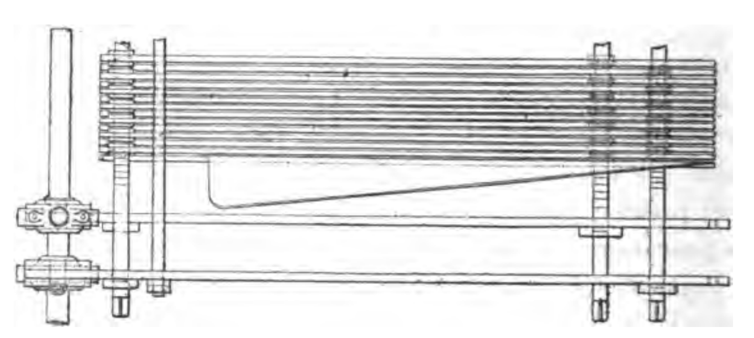


Fig. 768. Grille Briart (plan horizontal)

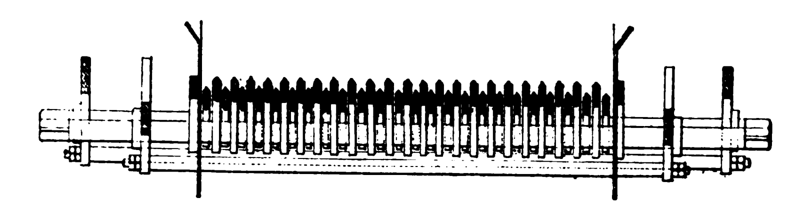


Fig. 769. Grille Briart (coupe verticale).

celle de la vapeur d'échappement; ou bien, inversement, achever de noyer les matières dans un délayage complet, au moyen d'une forte pluie projetée sur la grille. C'est à ce moyen que l'on a le plus souvent recours, en pareil cas.

Pour déplacer les gros morceaux qui bouchent les vides, ou détruire les petits édifices, dont les matériaux se sont, mal à propos, disposés en voûte, en s'appuyant les uns contre les autres, on a la ressource très simple d'imprimer, sans interruption, une série de secousses, incompatibles avec la conservation de pareils équilibres (¹). Tantôt un arbre à cames écarte la grille de sa position de repos, et l'abandonne, pour que son poids l'y ramène, en choquant un heurtoir; tantôt on se contente d'un mouvement plus doux d'excentrique. Tantôt, enfin, on emploie la grille Briart (²).

Dans ces derniers appareils (fig. 767, 768, 769), il s'opère un brassage méthodique des matières. A l'origine, l'inventeur laissait fixe

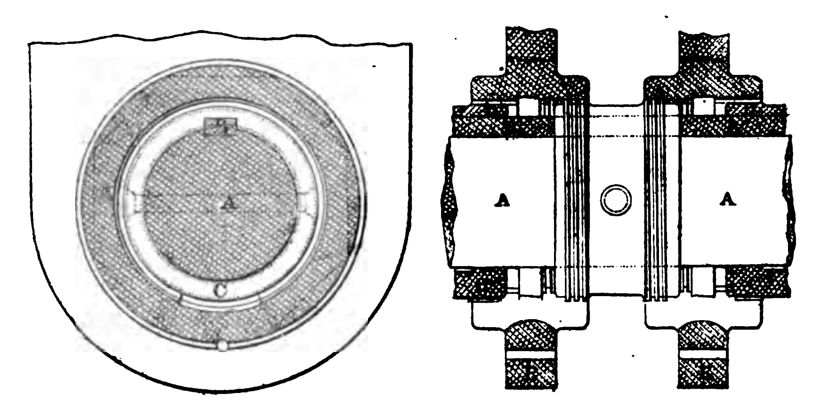


Fig. 770, 771. Grilles amovibles Guinotte et Briart (coupes transversale et longitudinale).

la moitié des barreaux, ceux de rang pair, par exemple. Les barreaux impairs, réunis par des entretoises mobiles, exécutaient, sous l'empire d'excentriques, un mouvement angulaire, en raison duquel on les voyait alternativement s'élever au dessus du plan de la grille fixe, et se dérober au dessous. Les morceaux se trouvaient ainsi incessamment dérangés dans leurs équilibres factices. Depuis lors, on a remplacé les excentriques par des arbres coudés, qui

(¹) A Bességes, les cribles reçoivent, par minute, 150 oscillations de 0m,12 d'amplitude; à Blanzy, à Commentry, 110 oscillations de 0m,15.

(²) Triage mécanique Briart (*Société des anciens élèves de l'école du Hainaut* 2e, III, 57).

donnent beaucoup moins de frottement [1]. En outre, tous les barreaux, en restant associés suivant deux systèmes distincts, sont devenus mobiles dans des conditions identiques. De cette manière, une course moitié moindre pour chaque groupe permet d'obtenir le même écartement, et, de plus, les deux mouvements inverses s'équilibrent mutuellement. Enfin, M. Briart, en collaboration avec M. Guinotte, vient d'apporter, à ses grilles, un perfectionnement très important, par l'introduction des entretoises variables [1].

On a souvent besoin, dans les triages, de faire varier l'écartement des grilles suivant les demandes du commerce. Il faut alors, avec les cribles ordinaires, arrêter l'appareil, déboulonner les entretoises, et les remplacer par d'autres; ce qui est fort long et sujet à difficultés, car les barreaux peuvent se fausser, en rendant les ajustages difficiles. Avec le système Guinotte et Briart (fig. 770), un arbre A entraîne, à l'aide du prisonnier B, une série de manchons C, filetés alternativement à droite et à gauche. Ceux-ci engrènent avec des écrous D taraudés de la même manière, et solidaires avec les barreaux E. Si l'on tourne l'arbre D avec une clef, les barreaux consécutifs se rapprochent ou s'écartent deux à deux, en faisant varier l'ouverture, qui détermine le conditionnement des matières.

Notons encore, dans l'ordre d'idées qui nous occupe, le soin que l'on prend quelquefois de percer dans les tôles, non pas des trous cylindriques, mais des troncs de cône un peu évasés en dessous. De cette manière, les grains rencontrent des facilités de plus en plus grandes pour franchir l'épaisseur, et le moindre effort remet en liberté ceux qui se seraient coincés.

1301 — *Dispositifs d'ensemble.* — Les dispositifs d'ensemble se rattachent à deux types fondamentaux : les tamis et les trommels.

Les *tamis*, ou *cribles*, sont des surfaces planes, que l'on incline sur l'horizon pour faciliter la descente des matières, et que l'on étage les unes au-dessus des autres, de manière à obtenir des classements successifs en plusieurs sortes (fig. 772, 773). Mais cette combinaison peut être réglée suivant deux principes différents.

[1] Haton de la Goupillière, *Traité des mécanismes*, 367.

Dans le premier mode, le tout-venant s'engage d'abord sur la tôle qui présente les trous les plus fins, et ensuite sur celles qui ont des orifices de plus en plus grands. La première sorte qui traverse sera donc la plus ténue, et le refus sera formé du mélange de toutes

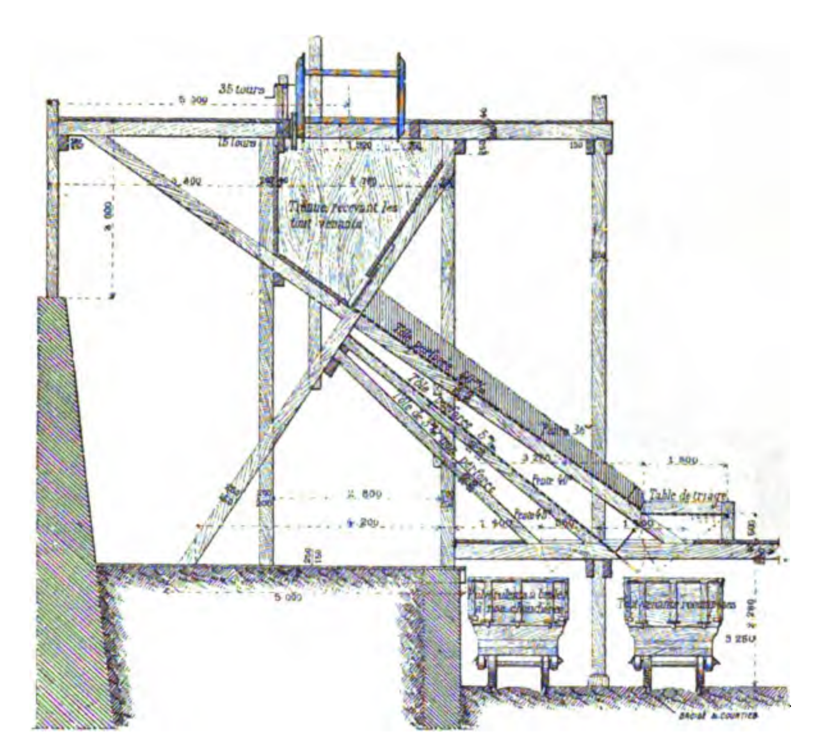


Fig. 772. Crible fixe de Saint-Étienne.

les autres. Le second tamis sépare une nouvelle catégorie moins fine que la première, et ainsi de suite. Le dernier crible donne une avant-dernière sorte, et son refus constitue la dernière, qui est la plus grosse.

On peut, inversement, commencer par la tôle aux plus grands trous, et terminer par la plus fine. Alors, le premier refus est formé de la plus grosse sorte, et le mélange de toutes les autres tombe, à travers les trous, sur le second tamis. Les choses se passent ainsi successivement jusqu'au dernier crible, qui retient l'avant-dernière catégorie, et laisse enfin passer la moindre de toutes.

En principe, le second mode est préférable au précédent, attendu que la tôle qui présente les trous les plus fins, les plus délicats, par conséquent, ne reçoit alors que les deux dernières sortes, les plus légères, tandis que, dans la première combinaison, elle est inutilement fatiguée par le passage du tout-venant, et des plus gros morceaux. En second lieu, la grande importance que prennent,

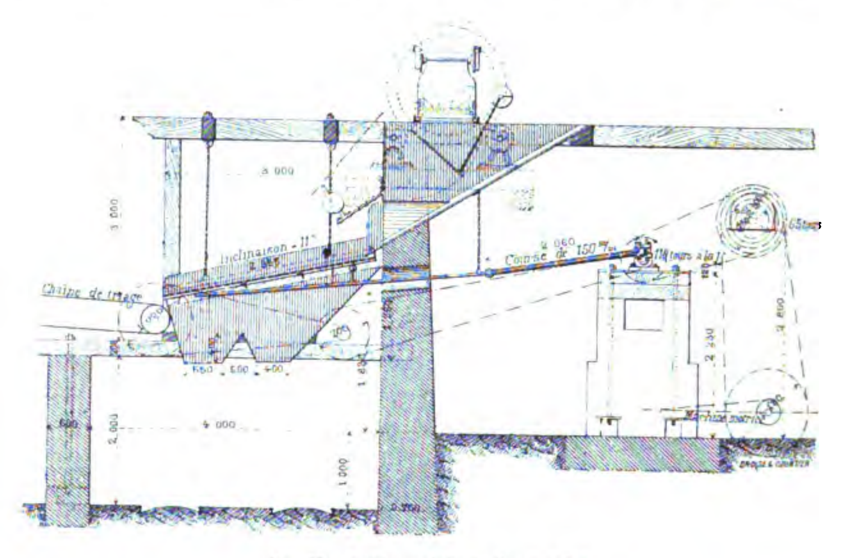


Fig. 773. Crible mobile de Commentry.

dans ce cas, les premiers refus, donne plus de chances de voir s'y égarer des fines, que la petitesse de leur diamètre appelait à passer de suite, mais qui auront trouvé, dans la période où elles auraient dû le faire, tous les trous bouchés par les gros fragments, en compagnie desquels elles circulaient.

1302 — Le *trommel-classeur* ne diffère du trommel-débourbeur (nº 1296) que par l'absence des poignards, et la réduction, au strict nécessaire, parfois même la suppression du torrent d'eau qui était destiné à effectuer le délayage de la matière pâteuse, actuellement éliminée. Sa supériorité sur les tamis consiste, ainsi qu'il a été expliqué ci-dessus, à concentrer, dans une petite longueur, un assez long parcours au contact de la surface filtrante, qui, pour

être effectué en ligne droite, exigerait des cribles d'un développement inadmissible.

Le séjour des matières risquerait même quelquefois de s'y prolonger au delà du nécessaire, en entravant l'activité de l'appareil, si, pour aider à l'effet de l'inclinaison longitudinale, l'on n'avait soin de disposer, à l'intérieur, une hélice en tôle, qui pousse progressivement la charge jusqu'à l'extrémité.

Le trommel est constitué par une série de zones, dont les parois sont formées de tôle à trous, de diamètres croissants ou décroissants, suivant l'un ou l'autre des deux modes qui viennent d'être définis à l'occasion des tamis. Le premier, malheureusement le plus défectueux, comme nous l'avons vu, conduit au dispositif le plus simple, puisque les sortes qui filtrent successivement avec des diamètres croissants sont définitives, et qu'il suffit de les recueillir sur des couloirs et dans des wagonnets distincts, tandis que les refus continuent leur chemin dans l'intérieur. Au contraire, avec le second principe, la matière qui sort constitue un mélange à retraiter, et le fini reste à l'intérieur. Il faut donc, ou bien employer une série de trommels distincts, en nombre égal (sauf une unité) à celui des sortes (1), ou avoir des trommels concentriques, recevant le tout-venant par l'intérieur, et le conditionnant successivement à travers des trous croissant avec le rayon, ce qui rend difficiles la visite et la réparation des tôles intérieures ; ou bien, enfin, recueillir la première sorte en la dégageant de l'appareil, et y réintégrer, au contraire, ce qui vient d'en sortir, au moyen de dispositifs assez compliqués, tels que le trommel Boudehen (2).

On a introduit, dans quelques ateliers allemands, un palliatif pour obvier à ces inconvénients. On commence par un trommel à double enveloppe. Sa tôle intérieure reçoit les plus gros morceaux, destinés au klaubage. Elle est forte, et bien en état de résister. La seconde retient les grenailles, et laisse passer les sables. Chacune

(1) A Silberau, près d'Ems, à Laurenburg, près d'Holzappel, on rencontre 7 trommels étagés l'un au-dessus de l'autre.

(2) *Bull. min.*, 1re, VI. — *Rev. univ. d. m. et u.*, septième année. — Habermann. Gegenwärtig gebraulichen Siebtrommeln und classirungs-Trommel Systeme (*Berg- und Hüttenmännisches Jahrbuch*, XXIX, 331).

de ces deux catégories est alors dirigée vers deux séries de trommels simples, qui procèdent au classement en plusieurs grosseurs. Il est difficile de descendre ainsi au-dessous d'un millimètre, ou, tout au plus, d'un demi-millimètre. Un semblable système peut passer de 30 à 35 tonnes par jour, avec 6 ou 8 mètres cubes d'eau par heure, une vitesse de 8 à 12 tours par minute, et une force de 1 ou 2 chevaux.

CHAPITRE LII

CRIBLAGE A LA CUVE

—

§ 1

THÉORIE ANALYTIQUE

1303 — Le *criblage à la cuve,* qui sert de base à un grand nombre de procédés d'enrichissement, repose essentiellement sur l'antagonisme établi entre l'accélération que la pesanteur tend à imprimer au grain de minerai, pendant sa chute à l'intérieur d'un milieu résistant, et la réaction que ce liquide développe, dans une proportion qui croît avec la vitesse. Le premier de ces agents nous présente une force *de masse*, le second, une action *de surface.* On comprend donc que leurs effets arrivent à se contre-balancer, d'une manière variable avec la forme et la constitution des grains, et qu'il en puisse résulter un moyen de classification, groupant ensemble les fragments qui présenteront certaines similitudes, provisoirement inconnues, et les séparant de ceux qui en diffèrent sous les mêmes rapports.

Pour étudier, par le calcul, ces effets très complexes, nous commencerons par faire une hypothèse qui, bien que singulièrement éloignée de la réalité, conduit cependant à des déductions, en concordance remarquable avec l'observation. Nous supposerons que tous les grains soient géométriquement semblables, et qu'ils restent, pendant leur chute, semblablement orientés dans le liquide.

Il ne reste plus, dès lors, que deux éléments variables de l'un à

l'autre, à savoir : la grosseur et la composition minéralogique. Cette dernière sera caractérisée par la *densité moyenne*, que nous représenterons par δ, de telle sorte que le poids en kilogrammes soit égal au produit, par 1000 δ, du volume exprimé en mètres cubes. Celui-ci sera désigné, de son côté, à l'aide d'une dimension quelconque, mais spécifiée, et homologue dans tous les grains. Nous l'appellerons le *diamètre*, pour fixer le langage, et nous en représenterons la longueur par l. Dans ces conditions, le poids sera exprimé par $al^3\delta$, si nous marquons par a une constante renfermant, indépendamment du facteur 1000, un certain coefficient géométrique, relatif à la forme du grain [1].

1304 — La masse de ce corps aura, d'après cela, pour valeur $\frac{al^3\delta}{g}$, et l'équation du mouvement rectiligne de son centre de gravité se formulera, en égalant le produit $\frac{al^3\delta}{g}\frac{dv}{dt}$ à la somme algébrique des projections des forces sur la direction du mouvement.

Celles-ci sont au nombre de trois, à savoir : 1° le poids $al^3\delta$, dirigé de haut en bas; 2° la poussée du liquide, s'exerçant de bas en haut, et exprimée, d'après le principe d'Archimède [2], par le poids al^3 de l'eau déplacée; 3° la résistance dynamique du milieu, également dirigée de bas en haut, et que l'on sait être proportionnelle à la fois au carré de la vitesse [3], et à l'aire du maître-couple du mobile, c'est-à-dire au carré de ses dimensions. Nous pouvons donc la représenter, à l'aide d'une nouvelle constante b, qui dépend, comme la première, de la forme du corps, par bl^2v^2.

[1] Par exemple $\frac{\pi}{6}$, si l est le diamètre d'une sphère; $\frac{1}{3\sqrt{3}}$ s'il désigne la diagonale d'un cube; $\frac{1}{6}$ s'il représente celle d'un octaèdre, etc.

[2] Cette intervention de l'hydrostatique, dans une question qui concerne un liquide continuellement agité par la traversée d'un essaim de grains solides, manque évidemment de rigueur; mais elle est permise, dans le cas actuel, en raison de l'écart qui existe déjà entre la réalité et l'hypothèse de la similitude, prise par nous comme point de départ.

[3] Expression approximative, mais très suffisante dans la question actuelle (Haton de la Goupillière, *Traité des mécanismes*, 441).

L'équation différentielle du mouvement devient ainsi :

$$\frac{al^2\delta}{g}\frac{dv}{dt} = al^2(\delta - 1) - bl^2v^2. \tag{1}$$

On y peut séparer les variables de la manière suivante :

$$\frac{g}{al\delta}\,dt = \frac{dv}{al(\delta - 1) - bv^2},$$

ou, sous une forme équivalente :

$$\frac{2}{\delta}\sqrt{\frac{b(\delta-1)}{al}}\,dt = \frac{dv}{\sqrt{\frac{a}{b}l(\delta-1)} + v} + \frac{dv}{\sqrt{\frac{a}{b}l(\delta-1)} - v}.$$

On aura donc, en intégrant avec des logarithmes népériens :

$$\frac{2}{\delta}\sqrt{\frac{b(\delta-1)}{al}}\,t = \log\frac{\sqrt{\frac{a}{b}l(\delta-1)} + v}{\sqrt{\frac{a}{b}l(\delta-1)} - v}, \tag{2}$$

sans constante, puisque l'on doit avoir $v = 0$, en même temps que $t = 0$.

1305 — On voit par là que v, d'abord nul, s'accroît progressivement, mais sans pouvoir dépasser la valeur asymptotique :

$$V = \sqrt{\frac{a}{b}l(\delta-1)}, \tag{3}$$

car, au fur et à mesure que l'on en approche, par la pensée, t grandit au delà de toutes limites, et devient infini pour l'hypothèse (3).

En fait, la croissance est rapide, et, au bout d'un temps très court, le mouvement est devenu sensiblement uniforme, avec une

vitesse égale à V. M. de Rittinger a montré (¹) que l'on peut considérer cette vitesse comme acquise au bout des durées suivantes, selon le calibre des grains :

1 seconde . . . . $l = 0^m,016$
½ — . . . . $0^m,004$
¼ — . . . . $0^m,001$

On peut s'en rendre compte par le tableau suivant :

DIAMÈTRE — millim.	MINÉRAUX	VALEUR DE LA VITESSE AU BOUT DE n SECONDES (EN MÈTRES PAR SECONDE)				
		$n = \frac{1}{8}$	$n = \frac{1}{4}$	$n = \frac{1}{2}$	$n = 1$	$n = 2$
16	Galène. . . .	0,903	1,441	1,630	1,650	1,650
	Pyrite. . . .	0,825	1,174	1,287	1,293	1,293
	Quartz. . . .	0,570	0,767	0,801	0,817	0,817
4	Galène. . . .	0,704	0,814	0,823	0,824	0,824
	Pyrite. . . .	0,586	0,643	0,646	0,646	0,646
	Quartz. . . .	0,383	0,409	0,409	0,400	0,409
1	Galène. . . .	0,400	0,413	0,414	0,414	0,414
	Pyrite. . . .	0,321	0,323	0,323	0,323	0,323
	Quartz. . . .	0,203	0,204	0,204	0,204	0,204

Quant au coefficient constant de la formule (3), il a pour valeur :

$$(4) \qquad \sqrt{\frac{a}{b}} = 5,11$$

pour des grains exactement sphériques, tels que ceux qui constituent le plomb de chasse. Avec des formes plus vagues, que M. de Rittinger caractérise par les dénominations suivantes, il adopte les valeurs :

(¹) Von Rittinger, *Lehrbuch der Aufbereitungskunde.*

Grains arrondis.	$\sqrt{\frac{a}{b}} = 3{,}20$
— aplatis.	2,35
— allongés.	2,65

en continuant à désigner par l le *diamètre moyen*. Mais, comme cette dernière appréciation devient elle-même assez obscure, le savant ingénieur remplace dans la formule (3), en modifiant convenablement son coefficient numérique, le diamètre *l du grain* par celui L *du trou rond* pratiqué dans le crible qui a servi à calibrer cette sorte. En introduisant cette donnée bien déterminée dans la formule :

$$V = \sqrt{\frac{A}{B} L(\delta - 1)}, \tag{5}$$

on emploiera les valeurs :

Grains arrondis.	$\sqrt{\frac{A}{B}} = 2{,}73$
— aplatis	1,92
— allongés.	1,37

Enfin, pour une expérience courante exécutée sur des minerais classés, mais présentant, pour leurs différents grains, toutes les diversités qui les constituent dans la pratique, on peut accepter la valeur définitive :

$$\sqrt{\frac{A}{B}} = 2{,}44. \tag{6}$$

Pour permettre de se faire une idée précise des vitesses que représentent, dans la réalité, les formules (3) et (5), pour des grains sphériques (4), ou communs (6), M. Marsaut [1] a donné les nombres suivants, relatifs aux substances qui forment la base ordinaire du lavage des combustibles [2] :

[1] Marsaut. Étude sur le lavage de la houille aux mines de Bességes (*Bull. min.*, 2e, VIII, 391).

[2] On trouve également des tableaux numériques intéressants, en ce qui concerne

DIAMÈTRES l ou L	GRAINS SPHÉRIQUES $V = 5{,}11\sqrt{l(\delta-1)}$			GRAINS COMMUNS $V = 2{,}44\sqrt{L(\delta-1)}$		
millimètres	HOUILLE	SCHISTE	PYRITE	HOUILLE	SCHISTE	PYRITE
10	0,280	0,560	1,022	0,134	0,267	0,488
8	0,250	0,501	0,914	0,119	0,239	0,436
6	0,217	0,433	0,791	0,103	0,207	0 378
4	0,177	0,354	0,646	0,084	0,169	0,309
3	0,153	0,307	0,560	0,073	0,146	0,267
2	0,125	0,250	0,457	0,060	0,119	0,218
1	0,088	0,177	0,323	0,042	0,084	0,154
$^{1}/_{2}$	0.062	0,125	0,228	0,030	0,060	0,109

On voit, par ce qui précède, que la vitesse constante que prend presque immédiatement un corps pesant, au sein du liquide, dépend à la fois de sa grosseur et de sa densité moyenne. Elle croît, de l'un à l'autre, comme la racine carrée du *produit de la dimension par la densité dans l'eau* :

$$(7) \qquad \sqrt{l(\delta-1)}.$$

Telle est, pour chaque grain, la *fonction caractéristique* qui réglera la rapidité de sa chute.

D'après cela, les corps à la fois gros et denses prendront nettement l'avance sur ceux qui seront petits et légers. Mais, pour les autres, il pourra s'établir des compensations entre le volume et le poids spécifique, de telle sorte que des grains de grand diamètre et de faible densité adoptent la même allure que de petits grains plus denses. Les mineurs allemands ont introduit le mot *gleichfällig* pour caractériser les grains qui admettent la même valeur de la fonction caractéristique (7), et qui, par suite, tomberont également ; et *gleichfälligkeit* pour désigner cette propriété elle-même. Nous nous contenterons ici des termes, malheureusement moins expressifs, de corps *équivalents* et d'*équivalence*.

les minerais métalliques, dans l'important traité de M. de Rittinger, p. 178, 193, 195, 272, et dans son premier supplément, p. 21 à 27.

Imaginons maintenant un lit de grains homothétiques, abandonnés, tous en même temps, au sein du liquide, dans l'étendue d'un plan horizontal. On verra ce plan se séparer en plusieurs autres, qui acquerront des avances de plus en plus caractérisées les uns sur les autres, et dans chacun desquels voyageront ensemble les grains équivalents. La sorte qui présente la valeur numérique la plus élevée, pour la fonction caractéristique $l\,(\delta-1)$, parviendra la première à la partie inférieure, et s'étalera sur le fond horizontal du vase. Les autres se stratifieront au-dessus, en arrivant successivement, et l'on retrouvera, à la surface, une dernière couche, formée des grains pour lesquels la fonction caractéristique atteint sa moindre valeur.

Si donc on vient ensuite à racler exactement, par tranches horizontales, le dépôt ainsi formé, on aura obtenu un classement par équivalence. Seulement, dans l'état actuel des choses, ce sortissage serait de peu d'intérêt pour le métallurgiste, puisque l'influence du volume, qui est pour lui secondaire, y dissimule d'une manière confuse, celle de la densité, qui forme le point capital du conditionnement dont il a besoin. Mais on peut faire un nouveau pas dans cette classification.

1306 — Réduisons, pour cela, le problème du *classement par densité* à ses termes les plus simples, en supposant qu'il n'y ait en présence que deux matières, de densités δ et δ', que l'on entreprend de séparer [1].

Imaginons, à cet effet, qu'au lieu de laisser tomber ensemble dans l'eau toutes les parties du tout-venant, on ait commencé par calibrer celui-ci, en lui faisant subir un classement par volume (n° 1298), sur une série de cribles dont les trous présentent des *diamètres en progression géométrique, ayant pour raison le rapport des densités dans l'eau* des deux substances qu'il s'agit d'isoler [2].

[1] Pour les matières complexes, on cherche à séparer l'élément utile de la substance dont le poids spécifique est le plus voisin, ce qui l'isole *a fortiori* des autres. Par exemple, s'il s'agit de débarrasser, du quartz, un minerai de galène et blende, on emploiera, pour le calcul, les densités du quartz et de la blende.

[2] Autant toutefois que ces densités pourront être déterminées. Pour des espèces minéralogiques bien caractérisées, il en est ainsi, au moins quand on fait abstraction des légères variations constatées par divers observateurs, et hors de proportion avec le

Je dis que, dans ces conditions, il ne pourra plus exister, dans chaque opération, de grains équivalents, sur lesquels la grosseur sont en état de suppléer au défaut de poids spécifique, pour les faire tomber avec la même vitesse.

En effet, si L_n et L_{n+1} désignent, dans cette série, les diamètres respectifs du crible que la matière a traversé, et de celui qui l'a refusée, on aura, par hypothèse :

$$\frac{L_{n+1}}{L_n} = \frac{\delta - 1}{\delta' - 1}.$$

Or, si le mélange comportait deux grains équivalents, de diamètres l et l', on aurait en même temps :

$$l(\delta - 1) = l'(\delta' - 1),$$

d'où :

$$\frac{l'}{l} = \frac{\delta - 1}{\delta' - 1},$$

et, par suite :

$$\frac{l'}{l} = \frac{L_{n+1}}{L_n},$$

besoin de précision de la question actuelle. Mais il peut arriver qu'il n'en soit plus de même *a priori*. Il arrive, par exemple, que, de la houille pure, on passe au schiste pur, en observant toute la continuité des valeurs intermédiaires, pour des houilles schisteuses et des schistes charbonneux.

Quoi qu'il en soit, j'indiquerai ici, *en nombres ronds*, pour faciliter les calculs, les densités des principales espèces, dont on a le plus ordinairement à se préoccuper dans les questions de lavage :

ESPÈCES MINÉRALES	DENSITÉ absolue δ	DENSITÉ dans l'eau $\delta - 1$	ESPÈCES MINÉRALES	DENSITÉ absolue δ	DENSITÉ dans l'eau $\delta - 1$
Galène.	7,5	6,5	Blende.	4,0	3,0
Wolfram.	7,3	6,3	Chaux fluatée	3,2	2,2
Étain oxydé	6,7	5,7	Chaux carbonatée . .	2,7	1,7
Pyrite arsénicale. . .	5,6	4,6	Quartz.	2,6	1,6
Pyrite de fer.	5,0	4,0	Schiste.	2,3	1,3
Baryte sulfatée. . . .	4,6	3,6	Houille.	1,3	0,3
Chalkopyrite.	4,2	3,2			

La densité de la houille varie de 1,2 à 1,4; celle du schiste de 2,2 à 2,4. Elle peut même dépasser un peu ce chiffre.

équation absurde. En effet, le grain l ayant traversé le n^e crible, on a :

$$l < L_n,$$

et le grain l' ayant été arrêté par le $(n+1)^e$:

$$l' > L_{n+1},$$

inégalités incompatibles avec la relation précédente.

On voit ainsi que la faible variation de grosseur, qui peut encore régner entre les divers grains d'un même chargement, devient incapable de masquer, dans la formule (3), l'influence des densités. La vitesse V est donc nécessairement plus grande pour les grains les plus denses, et ce sont, par suite, ceux-là qui arrivent les premiers au fond; les autres venant ultérieurement se stratifier au-dessus d'eux. On a, par conséquent, à l'aide de cet artifice, réalisé, en rigueur, le classement par densité.

1307 — Le classement de volume se présente, d'après cela, comme un préliminaire indispensable du criblage à la cuve, si l'on veut donner à cette opération toute la netteté dont elle est susceptible, au lieu de ne lui demander que des résultats plus ou moins confus. C'est une complication, à la vérité, mais qui ne devra pas arrêter, en vue d'une amélioration de cette importance.

Cependant, il est plus exact de dire que l'on se trouvera, sous ce rapport, en présence de difficultés très variables d'un cas à l'autre, suivant les poids spécifiques des deux substances dont on aura entrepris la séparation. S'il existe, entre eux, une grande disproportion, la raison de la progression sera notablement différente de l'unité, et, avec un petit nombre de cribles, on pourra passer du plus gros au plus fin. Mais s'il s'agit, au contraire, d'isoler deux substances de densités presque égales, la raison se rapprochant beaucoup de l'unité, il faudrait, pour franchir la distance, un nombre inacceptable de criblages.

Si, par exemple, on se propose de séparer la houille du schiste, le rapport :

$$\frac{1,3-1}{2,3-1} = 0,23$$

donnera toutes facilités. Pour la galène et la baryte :

$$\frac{4,6-1}{7,5-1}=0,55$$

les conditions seront encore très acceptables. Mais pour séparer l'étain du wolfram :

$$\frac{6,7-1}{7,5-1}=0,90$$

on arrive à de telles difficultés, que la question n'a pu être industriellement résolue (n° 1399).

Comme exemple effectif, je citerai l'atelier de Silberau, qui emploie les diamètres suivants, pour séparer la galène de la blende et du quartz :

0,5 — 1 — 2 — 3 — 5 — 8 — 13;

Les valeurs théoriques correspondantes :

0,5 — 1 — 1,8 — 3,2 — 5,7 —— 10,2

s'écartent peu des précédentes. Comme type de la complication qui naît du rapprochement des densités, j'indiquerai de même l'exemple du Bleyberg-ès-Montzen, où l'on sépare la galène du plomb phosphaté, à l'aide de la série :

2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 10, 12, 15, 18, 20, 22, 25, 28, 35.

1308 — Dans certaines conditions locales, on a substitué l'eau de mer à l'eau ordinaire. Cette circonstance, sans exercer une influence sérieuse, agit théoriquement dans un sens favorable. En effet, les densités qui résultent de l'application du principe d'Archimède, deviennent alors $\delta-\Delta$ et $\delta'-\Delta$, au lieu de $\delta-1$ et $\delta'-1$, si Δ désigne celle de l'eau de mer, laquelle est supérieure à l'unité [1].

[1] On peut admettre, en moyenne, la valeur $\Delta=1,026$.

La raison de la progression devient donc :

$$\frac{\delta - \Delta}{\delta' - \Delta}.$$

On peut la déduire de l'ancienne, en retranchant la même quantité $\Delta - 1$ aux deux termes de celle-ci. Or on sait qu'une telle opération, exécutée sur une fraction quelconque, éloigne toujours le quotient de l'unité. Les conditions sont donc devenues plus avantageuses.

§ 2

LAVOIRS A EAU STAGNANTE

1309 — Le criblage à la cuve, que nous avons étudié d'une manière abstraite, a été réalisé, dans les conditions mêmes où il vient d'être décrit, à la mine de plomb de Carnoulès (Gard), en précipitant les matières à travers de gigantesques colonnes d'eau, de 30 mètres de hauteur [1].

MM. de Francy et Jarlot [2], en conservant le même principe pour leur lavoir à houille (fig. 774), ont cependant cherché à éviter les embarras créés par de telles dimensions, en réduisant la hauteur à deux mètres environ, et répétant deux fois l'opération, au moyen d'un relevage. Le piston A, partant du niveau A_0, effectue cette chute dans le cylindre B. La tige à crémaillère C sert à le remonter, sous l'action d'un pignon D, que l'on peut débrayer à l'aide d'un levier E. Lorsque l'on exécute ce mouvement, le piston, abandonné à lui-même, tombe par son propre poids. Le cylindre B étant sans issue (car la soupape F ne peut s'ouvrir que de droite à gauche), la charge de charbon accumulée en A_0, et sous laquelle se dérobe son point d'appui, tombe elle-même, en se classant, à travers cette eau stagnante. On s'occupe alors de relever le piston, à l'aide du pignon. Pendant ce mouvement, le retour d'eau G fonctionne à

(1) Marsaut, Étude sur le lavage de la houille aux mines de Bessèges (*Bull. min.*, 2e, VIII, 401). — Armengaud jeune. Affaire des lavoirs Evrard et Marsaut. *Dire à MM. les Experts pour M. Max. Evrard.* Lithographié, p. 5.

(2) Lavoir de Francy et Jarlot (*Génie industriel* d'Armengaud, XV, 203).

l'aide du clapet F, et le liquide, soulevé par la charge et la couche imperméable de mourre qui la surmonte, repasse sous le piston. On enlève ensuite les substances en plusieurs tranches, à l'aide de la raclette H. Les matières fines qui peuvent passer, pendant cette manœuvre, dans le tube latéral, se déposent au fond du récipient I, d'où elles seront extraites à l'aide de l'autoclave J, lorsque, en consultant le robinet K, on se sera assuré que cette capacité est remplie. On a soin, pour cela, de fermer préalablement la valve L, et l'on complète ensuite, par la partie supérieure, la quantité d'eau dont s'est appauvri le bassin intérieur.

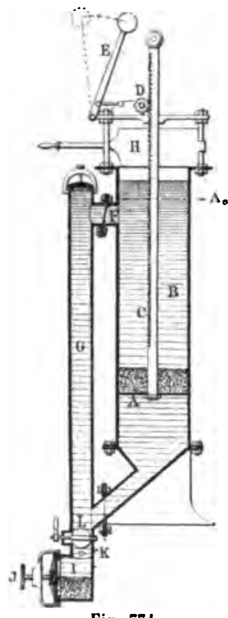


Fig. 774.
Lavoir de Francy et Jarlot.

Tel est cet appareil, à peine remarqué dans l'origine, et, depuis longtemps, disparu. Nous avons tenu à le citer, cependant, pour suivre, pas à pas, la filiation des idées qui paraissent les plus propres à porter la clarté dans ces délicates matières.

1310 — Nous trouvons encore un exemple de la chute unique en eau profonde, dans un appareil, qui est d'un grand usage en Angleterre, pour le finissage des matières fines.

La cuve, ou *kieve* (fig. 775) consiste en un tronc de cône, d'un mètre environ de hauteur et de diamètre moyen, dans lequel des palettes peuvent tourner autour d'un axe vertical. Ce récipient étant rempli d'eau, à peu près à moitié, on y verse, autant que possible vers la périphérie, des matières schlammeuses, presque gluantes à force d'être ténues, mais médiocrement classées, et renfermant encore des grains moins fins, au milieu de cette pâte impalpable. On fait tourner l'agitateur, de manière à briser ce chargement, et à rendre aux particules leur indépendance. On arrête alors la rotation, et on laisse le dépôt s'effectuer suivant les règles de l'équivalence. Pour dégager, des schlamms entraînés, les

sables qui se stratifient progressivement, on frappe sur les parois une série ininterrompue de coups. On remet ainsi incessamment en suspension ces poussières, qui ne se précipitent qu'avec une grande lenteur. Les secousses sont imprimées à la main, ou communiquées par un arbre à came. On finit par les supprimer, pour activer le dépôt des matières. On décante le liquide avec un siphon, et, à l'aide de raclettes, on retire les couches successives, qui se sont accumulées sur le fond.

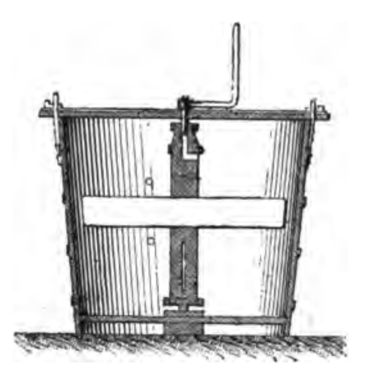


Fig. 775. Cuve.

On emploie également des cuves inclinées à 45 degrés. Elles présentent moins de base, plus de surface. La rotation devient irrégulière, ce qui active le dépôt.

1311 — En passant, des longs tubes de Carnoulès, aux appareils précédents, nous rencontrons déjà une réduction considérable de hauteur. Mais elle peut être poussée plus loin encore. Reprenons, en effet, la considération d'une couche plane, d'épaisseur négligeable, dont tous les éléments juxtaposés sont abandonnés simultanément. L'excès de longueur ne sert à rien, en principe, pour la classification. En effet, au bout d'un temps excessivement court (nº 1305), les vitesses de régime sont établies, et les plans d'équivalences distinctes se séparent les uns des autres. Un long parcours n'aura donc d'autre résultat que d'accentuer davantage leurs distances mutuelles, et, comme conséquence, les délais respectifs, au bout desquels chacune des couches atteindra le fond. Mais une fois que toutes s'y trouvent rassemblées, il ne reste nulle trace de ces époques d'arrivée; l'ordre de leur succession, seul, reste indiqué par celui de la stratification. Il suffit donc, théoriquement, de l'amplitude très limitée qui correspond au développement des vitesses, pour que ce résultat soit atteint, et tout le surplus devient une superfétation.

Ajoutons immédiatement que cet aperçu, trop absolu, exige

un correctif. En réalité, l'épaisseur de la couche à une certaine importance. Les fragments y sont enchevêtrés, et se gênent mutuellement. Il faut, pour la réussite de l'opération, qu'ils se dégagent les uns des autres, et reprennent l'indépendance de leurs chutes respectives. Ceux de la partie supérieure que leur équivalence appelle à descendre le plus vite, et à parvenir les premiers au fond, doivent, pour cela, rattraper les grains qui sont partis d'un niveau inférieur. Toutes ces circonstances, accessoires quant au principe abstrait, mais inévitables en pratique, nécessiteraient encore une hauteur notable, si l'on s'en tenait à la chute unique comme à Carnoulès, ou tout au plus redoublée, comme dans le lavoir de Francy et Jarlot.

1312 — Mais M. Gervais a résolu autrement la difficulté [1]. Il a imaginé de répéter, un grand nombre de fois, une chute réduite à une très courte amplitude. On concilie ainsi les deux points de vue. L'influence de la hauteur se trouve réduite à ce qu'elle présente de véritablement efficace en théorie; et cette réitération, en remettant fréquemment les matières en mouvement, modifie indéfiniment les circonstances fortuites, dont l'influence vient se mêler, ainsi qu'il a été expliqué, à l'action principale, pour l'empêcher de réaliser, du premier coup, tous ses effets.

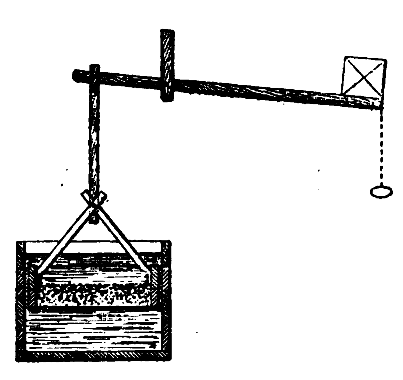
1313 — La cuve (nº 1310) nous présente une sorte de transition entre les appareils à longue chute et le lavoir Gervais, puisque nous y trouvons associés, quoique d'une manière confuse, le principe fondamental du mouvement sur une certaine hauteur, avec celui d'une remise en train perpétuellement répétée.

Cette dernière notion se dégage, plus nettement, dans un exemple bien antérieur : le *jig* anglais, qui est manœuvré à la main [2]. Il est formé d'un panier métallique (fig. 776), suspendu à l'extrémité

(1) Lavoir Gervais (*Bull. min.*, 1re, III, 499). — Rapport de MM. Lefébure de Fourcy, Rigaud, Carnot, experts dans l'instance Max. Évrard contre la Compagnie de Bessèges, p. 17. — Marsaut. Étude sur le lavage de la houille (*Bull. min.*, 2e, VIII, 451).

(2) On retrouve ce procédé dans Agricola (*De re metallica*, édition de 1621, p. 228). On a créé des modèles de jigs mus par des moyens mécaniques, tels que les appareils Bradford, Schmauch, etc.

d'un levier sur lequel un homme (ou souvent une femme) agit à l'autre bout, au moyen d'une poignée. Après avoir chargé le minerai à l'aide d'un râble, et l'avoir étalé avec un égalisoir, l'ouvrier abaisse le levier, en s'aidant d'un contrepoids, qui équilibre en partie l'appareil. Il l'abandonne ensuite, pour que le panier retombe, en laissant les matières se classer, dans leur chute à travers l'eau stagnante. Cette amplitude est très faible, et seulement de 30 à 35 millimètres. Mais l'oscillation se répète avec une grande fréquence. On donne 80 à 150 coups par minute. Quand la charge est classée, le laveur l'enlève par couches, à l'aide de son tranchoir.


Fig. 776. Jig (diagramme schématique).

Lorsque la matière est pauvre et donne très peu de bon à fondre, on se borne à retirer la plus grande partie, et on laisse le fond, pour le recouvrir d'un nouveau chargement. C'est seulement quand il s'est suffisamment augmenté, à la suite d'un certain nombre d'opérations, que l'on met à nu le bon à fondre, pour l'extraire à son tour.

Cet appareil rudimentaire fait de bonne besogne, lorsque l'ouvrier possède le *tour de main* nécessaire. Mais on ne peut économiquement opérer que sur de petites quantités de minerai d'une certaine valeur, et jamais sur les combustibles. Indépendamment des ateliers anglais, on le rencontre en Sardaigne, au Laurium, dans la Sierra de Carthagène, dans le centre de la France, etc.

1314 — M. Marsaut reprenant, pour la houille, la question au point où nous venons de la voir amenée dans le lavoir Gervais, lui a fait faire un nouveau pas en avant. Au lieu de relever successivement la claie, pour qu'elle se dérobe sous la charge dans une eau stagnante *en principe*, mais que ce régime finit par entretenir dans une très grande agitation, il reprend, pour la cuve, une profondeur

importante : 3 à 4 mètres, avec une couche de houille de 1^{m},20

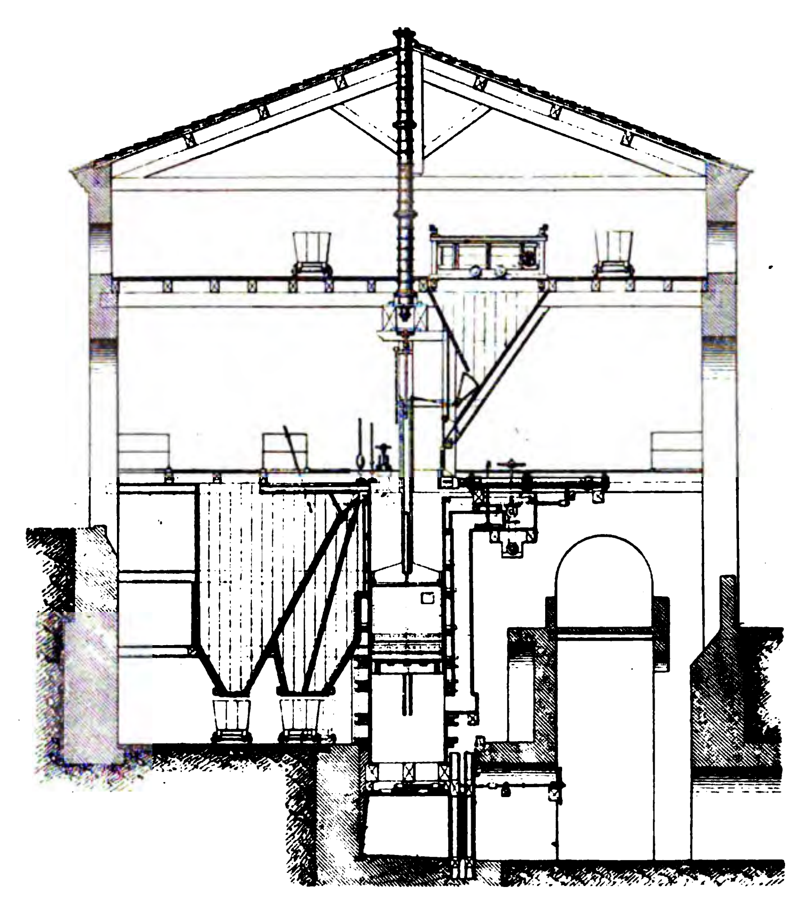


Fig. 777. Lavoir Marsaut (coupe longitudinale).

à 1^{m},30 d'épaisseur, et il communique à cette dernière un mouvement, encore intermittent, mais progressif et non plus alternatif.

On se demandera, dès lors, si ce n'est pas revenir au point de départ, et reculer dans la voie du progrès, puisque l'on va retrouver ainsi les inconvénients de la cuve profonde, et que l'on n'aura fait en apparence qu'ajouter, au système de Francy et Jarlot, la complication d'un mouvement saccadé. Mais il n'en est rien, et cette innovation a réalisé, au contraire, un avantage considérable,

fondé sur une remarque importante, due originairement à M. Julius de Sparre [1].

Si nous reprenons, en effet, l'équation différentielle (1, page 727) du mouvement d'un grain dans l'eau dormante, nous pouvons remarquer que, pour les premiers instants, où la vitesse ne fait que naître, loin d'avoir atteint son régime uniforme, son carré v^2 reste négligeable devant l'accélération $\frac{dv}{dt}$ qui est, au contraire, importante, puisque, dans un temps aussi court (n° 1305), elle fait passer le grain, du repos, à une vitesse finie V. Si donc nous restreignons, pour le moment, aux premiers instants seulement l'application de l'équation (1), elle pourra être simplifiée par la suppression du dernier terme, et deviendra [2] :

$$\frac{dv}{dt} = g\,\frac{\delta - 1}{\delta}.$$

On voit, dès lors, que l'influence des dimensions a disparu, et que le classement s'effectuera uniquement d'après la densité δ.

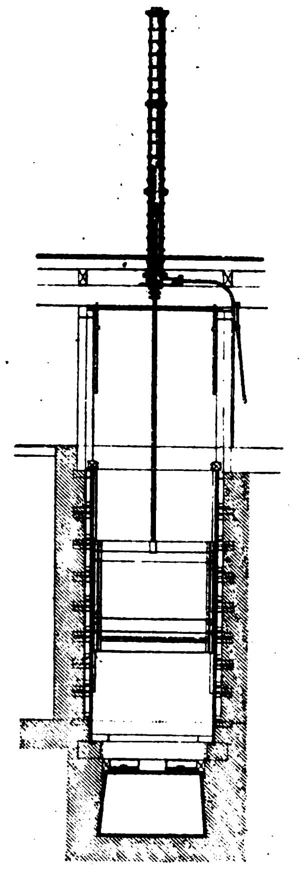


Fig. 778. Lavoir Marsaut (coupe transversale).

Il résulte de là que, si l'ensemble du mouvement au sein d'un milieu résistant a pour résultat final de classer par équivalence, ses premiers éléments agissent principale-

(1) *Bergwerks Freund*, XXI, XXII.

(2) Cette relation simplifiée peut s'établir directement, et sans que l'on ait besoin de passer par l'équation complète (1). Il suffit, pour cela, de remarquer que, dès l'instant que l'on néglige la résistance du milieu, pendant cette phase, il ne reste, comme forces motrices, que le poids et la poussée statique du liquide, c'est-à-dire une force accélératrice qui ne diffère de la pesanteur que par la réduction de cette dernière dans le rapport $\frac{\delta - 1}{\delta}$.

ment d'après la densité. Dans les conditions du lavoir de Francy et Jarlot, cette influence s'est trouvée complètement effacée par la prépondérance du mouvement normal, que l'on a laissé succéder, dans tout son développement, à la phase initiale. Mais, avec le mode introduit par M. Marsaut, en réitérant indéfiniment un mouvement réduit à une très faible amplitude, on avancera beaucoup plus nettement vers le but final de toute cette recherche, qui est le classement par densité.

1315 — Le lavoir Marsaut ([1]) qui fonctionne à Bessèges est formé d'une cuve en bois (fig. 777, 778) ouverte à sa partie supérieure, et fermée en bas par une cloison horizontale, munie de vannes, destinées à l'extraction des limons qui s'accumulent sur le fond, en traversant la claie (n° 1322). Au-dessus de la cuve, se trouve disposé, suivant son axe, un cylindre hydraulique, dont le piston supporte une cage de fer. Le fond de cette dernière est constitué par la claie, et ses côtés par trois tiroirs superposés, susceptibles de glisser horizontalement dans leur propre plan, quand ils y seront sollicités. Un distributeur d'eau sous pression sert à relever le système, d'un seul coup, de bas en haut ; et un mesureur, en laissant échapper le liquide par petites quantités, permet de régler la descente à volonté, comme amplitude et fréquence des mouvements intermittents qui le constituent, suivant le rythme qui sera jugé le plus favorable dans chaque cas, d'après la nature des charbons.

Le panier, après avoir reçu son chargement de 4 à 5 tonnes, subit d'abord deux ou trois secousses de grande amplitude, pour égaliser la charge, puis, toute la série des saccades qui le conduisent en bas. On le remonte alors à l'aide de l'accumulateur. L'étanchéité relative de la couche de charbon sur une aussi grande épaisseur, quand elle est au repos, jointe à celle de la pellicule de mourres qui se trouvent en suspension dans le bain, et auxquelles on donne le temps de se déposer en partie, relèvent l'eau, qui revient par-dessous à travers un tube latéral, dans lequel un clapet

([1]) *Bull. min.*, 2e, VIII, 431.

empêche le mouvement inverse pendant le lavage. On recommence alors une seconde descente, pour compléter les effets de la première.

Le système est enfin remonté de nouveau. On le sort de la cuve en trois fois, en ne faisant émerger, hors du plan de glissement, que le premier des trois tiroirs, et, successivement, les deux autres. Ils sont poussés, l'un après l'autre, par un piston hydraulique à mouvement horizontal. On racle ainsi séparément le charbon, le mélange, et le schiste, en les dirigeant, à l'aide de vannes, vers des couloirs distincts, par lesquels ils descendent dans les wagons disposés pour les recevoir. Des verrous sont employés, pendant l'opération, pour assujettir ces tiroirs d'une manière certaine par rapport à la cage. Leurs hauteurs doivent évidemment se trouver en relation avec la nature du combustible, mais ce réglage, une fois obtenu, se maintient pendant un certain temps.

Ce remarquable appareil peut, avec une force de cheval, et la surveillance d'un seul ouvrier, ou même d'un enfant, laver, en 10 heures, 120 à 150 tonnes de charbon.

§ 5

BAC A PISTON — GÉNÉRALITÉS

1316 — *Mouvement relatif.* — Les appareils précédents se présentaient à nous les premiers, dans l'ordre rationnel des idées ([1]), puisqu'ils réalisent directement le mouvement dont nous avons étudié la théorie. Dans l'industrie, leur ensemble ne représente cependant, en réalité, qu'une bien faible fraction du matériel employé pour le criblage à la cuve. Les solutions les plus courantes sont empruntées à une donnée différente, qui est dérivée de la précédente, par la considération du mouvement relatif. On

([1]) Je n'ai pas besoin d'avertir que, dans cette exposition, que je cherche à rendre aussi méthodique que possible, je ne m'attache, en aucune façon, à suivre l'ordre historique des inventions, qui, pour une matière aussi délicate, doit, je pense, céder le pas à l'enchaînement progressif des conceptions. On a vu que je n'ai pas craint, pour cela, d'introduire, dans cette série d'idées, quelques termes absolument surannés, mais qui forment d'utiles intermédiaires pour passer, d'une manière continue, de l'une à l'autre. C'est à ce point de vue que je m'attacherai jusqu'à la fin de ce chapitre.

est parti de cette idée, que si, au lieu de se donner les embarras nécessaires pour agir sur la charge, et la mettre en liberté dans une eau stagnante, on actionnait directement le liquide, de manière à le pousser de bas en haut sous le minerai, le mouvement relatif serait le même que lorsque ce dernier y descend de haut en bas, de telle sorte que l'on pourrait attendre, de cette combinaison, des résultats analogues. Cette idée est simple. Elle devait naturellement se présenter, et elle a rendu des services. Cependant elle ne constitue, par le fait, qu'un aperçu très superficiel; et, en la scrutant avec attention, M. Marsaut a su mettre en évidence les différences profondes qui séparent ces deux modes d'action.

1317 — Envisageons la charge de minerai que l'on a déposée sur la claie, tandis que la masse d'eau se trouve poussée par-dessous, à l'aide d'un piston qui se meut dans un compartiment latéral (fig. 779). La vitesse du liquide, d'abord nulle, s'accroît peu à peu[1]. Elle est donc d'abord insuffisante pour développer, au contact du grain, un effort capable d'en équilibrer le poids (diminué de la poussée, d'après le principe d'Archimède). L'équation d'équilibre entre ces trois forces n'est autre, en effet, que celle du mouvement uniforme qui aurait lieu sous leur triple influence. Or tel est l'état vers lequel tend asymptotiquement la loi exprimée par l'équation différentielle

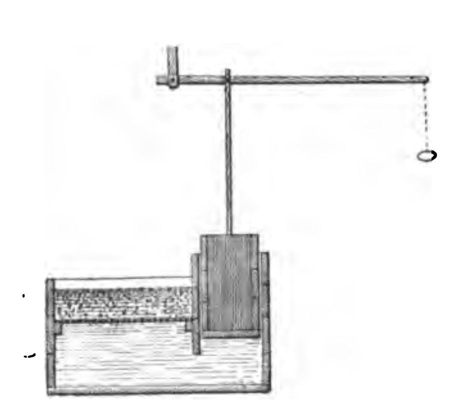


Fig. 779. Bac à piston (diagramme schématique).

[1] Nous supposons, en ce moment, la charge immergée dans le liquide, tandis que l'on maintient quelquefois le niveau de l'eau un peu inférieur à la claie, afin qu'elle ait le temps de *se lancer* sous l'action du pistonnage, et qu'elle vienne *fouetter* en pleine vitesse le minerai. Cette précaution est quelquefois nécessaire, avec des charges de matières fines et visqueuses, qui se déchireraient en lambeaux sous un effet progressif, en ouvrant à l'eau un certain nombre de canaux, tandis que le choc brusque, ayant moins le temps de se transmettre d'un point à l'autre, remet plus nettement chaque grain dans son indépendance.

(1, page 727). En un mot, c'est la relation (3). Tant que la vitesse croissante v n'a pas atteint la valeur spéciale V, qui est déterminée par cette formule, l'action du courant ne fait que *soulager* de plus en plus la claie, de la pression exercée sur elle par le grain immobile; mais elle est insuffisante à en *détacher* ce dernier.

Si, au contraire, la vitesse, qui est arbitraire, comme l'effort même que l'on imprime au piston, atteint et dépasse la valeur V, le grain abandonnera la claie. Il sera soulevé, et entraîné par le flot.

Lorsque le piston revient dans sa course inverse, le liquide se retire à sa suite, et rentre dans la cuve. La charge retombe donc, et se classe dans ce mouvement oscillatoire. Mais il est facile de voir que ce ne sera pas exactement de la même manière qu'avec les appareils à eau stagnante.

1318 — On aperçoit de suite cette distinction essentielle, que la vitesse relative (si l'on veut continuer, par analogie avec les appareils précédents, à lui rapporter l'influence classificatrice) possède nécessairement, par rapport au grain *libre*, et non adhérent à la claie, une vitesse *supérieure* à la limite V (variable avec le grain), à laquelle, au contraire, elle reste nécessairement *inférieure*, dans le criblage en eau stagnante, puisque V constitue alors la limite vers laquelle elle croît asymptotiquement. Cette différence est évidemment capitale.

Une conséquence très grave, qui en découle immédiatement, est que le classement ne saurait utiliser la *première phase* (n° 1314), la plus utile de toutes, puisqu'elle opère directement d'après la densité. En effet, cette phase n'existe plus avec le système actuel, et le nouveau fonctionnement commence, non seulement après que la vitesse v a traversé toutes les valeurs qui correspondaient à cette première période, mais, en outre, toutes les valeurs possibles de ce genre de mouvement, et même la limite V que, théoriquement, elle ne saurait atteindre dans le premier cas. De là, *en principe*, une infériorité incontestable des *bacs à piston* sur les *lavoirs à eau stagnante*.

1319 — Il ne faudrait pas, à cet égard, objecter que la descente du minerai, dans ces derniers appareils, s'accompagne forcément

de la remontée d'un égal volume d'eau. Ce mouvement du liquide n'est alors que l'*effet* de celui de la charge, provoqué directement par l'influence *naturelle* de la pesanteur; tandis que, dans le nouveau mode, il en est la *cause*, développée par l'action *artificielle* du pistonnage. Il ne précède donc pas, comme dans le bac à piston, la mise en train de la charge, et, par conséquent, on retrouve, à chaque descente, un instant de vitesse nulle de l'eau, que l'on n'a jamais pendant le mouvement du minerai dans le bac à piston. Or c'est l'existence de cet instant, suivi nécessairement, en raison de la continuité, de valeurs infiniment petites de la vitesse, qui donne lieu aux conséquences développées au n° 1314, et que nous venons de formuler comme un titre de supériorité, pour le principe du lavage en eau stagnante.

En dehors de ces considérations un peu délicates, il n'en est pas moins vrai que la simplicité du bac à piston lui a procuré, dans la pratique, une très grande extension.

1320 — *Retour d'eau.* — L'attention s'est portée, dans ces derniers temps, sur un point d'une grande importance, connu sous le nom de *retour d'eau*, ou mieux *succion*, que M. Marsaut a encore analysé avec beaucoup de sagacité (¹).

Nous venons de voir que le mode d'action de l'eau consiste à acquérir progressivement, sous l'influence du pistonnage, une vitesse suffisante pour *lancer* le minerai au-dessus de la claie. Lorsque le piston rebrousse chemin, le liquide le suit, et son mouvement change de sens. Sa vitesse a donc passé par zéro, et, par conséquent, elle a dû, avant ce moment, décroître progressivement et repasser au-dessous de la valeur V, qui lui avait été nécessaire pour entrainer le grain. Celui-ci ne saurait donc plus se soutenir en équilibre, et il retombera de son côté. Sauf la force vive qui l'anime vers le haut, on voit qu'il se mettrait en marche vers la claie, avant l'eau elle-même. En général, cette force vive ne suffit pas pour continuer à le faire monter, jusqu'à ce que l'eau rebrousse elle-même chemin.

(¹) Marsaut. Étude sur le lavage de la houille (*Bull. min.*, 2ᵉ, VIII, p. 396 et suivantes). — Supplément (*Ibidem*, p. 441). — Vicaire (*Bull. min.*, 2ᵉ, VIII, 276). — Boutan (*Traité d'exploitation* de Callon, III, 163).

Le minerai se trouve donc déposé sur la claie, pour se laisser traverser et *laver* par le courant descendant. Expliquons ce qu'il faut alors entendre exactement par cette expression de lavage.

Il est bien certain que l'effet de ce courant en retour ne saurait être de reprendre les morceaux qui se sont déposés à la partie inférieure pour les remettre par-dessus. Mais, indépendamment des *morceaux* qui ont trouvé leur équilibre dans ce dépôt, il existe des particules absolument ténues, que l'on désigne ordinairement sous le nom de *mourres*. Théoriquement, ces poussières devraient être éliminées, puisqu'il est entendu (n° 1306) que l'on traite des matières préalablement classées; mais nous avons vu (n° 1298) qu'il ne saurait en être ainsi rigoureusement; et, de plus, lors même qu'elles eussent été toutes supprimées, *a priori*, il se reformerait encore de nouvelles matières fines, par l'usure due à la friabilité des charbons que l'on soumet à ce traitement.

En raison de la valeur considérable que prend le rapport de leur surface à leur volume, rapport qui est proportionnel à l'inverse du diamètre, ces corpuscules obéissent, avec la plus extrême facilité, à l'action impulsive de l'eau. Ils se glisseront, par suite, avec elle dans tous les interstices, à travers lesquels elle effectue sa retraite. Les uns restent alors dans le charbon, en empêchant de le *démourrer*. Les autres achèvent de traverser le dépôt, et passent au-dessous de la claie, dans la cuve, au fond de laquelle ils se déposent, sous le nom de *limons*.

La production de ces derniers sera donc surtout facilitée par la nature grenue de la charge, qui procure des canaux plus largement ouverts pour cette circulation. On y verra naturellement dominer les schlamms les plus inférieurs, c'est-à-dire les plus terreux, qui se trouveront, en raison de leur situation dans la stratification générale par équivalence, les plus rapprochés de la claie. Sous ce rapport, la formation des limons sera une cause de purification du combustible et d'atténuation de sa teneur en cendres. L'on doit, dès lors, la considérer comme une circonstance favorable.

Mais si la pureté des fines augmente, en raison d'une friabilité particulière de la houille, ordinairement plus marquée que celle des charbons barrés, cet effet deviendra, au contraire, préjudi-

ciable, et l'on devra regarder comme utile, jusqu'à un certain point, l'empâtement de la charge par des poussières, qui tendent à boucher tous les canaux ; bien qu'il puisse sembler paradoxal de voir, dans la présence de ces fines, un préservatif contre la filtration des limons. En outre, on a cherché à constituer, pour ce cas, des bacs sans retour d'eau.

1321 — Nous ferons d'abord remarquer, à cet égard, que le lavoir Marsaut ne présente pas cette circonstance. La charge y descend, en effet, sans cesse ; et le liquide, loin de prendre des mouvements descendants, reste stagnant, sauf de légers déplacements ascensionnels (n° 1319).

Pour diminuer le recul de l'eau dans les bacs à pistonnage, on a d'abord employé le piston creux, à clapets s'abattant vers le bas. Ces soupapes s'appliquent sur leur siège, pendant le mouvement descendant ; mais, à la montée, elles retombent, et le piston, percé d'une large ouverture, peut reprendre son niveau initial, sans solliciter l'eau à rétrograder, avec la même énergie qu'il a mise à la pousser en avant.

Cette solution n'est cependant qu'approximative. On a cherché à l'améliorer, en employant, pour la commande, des organes de transmission qui agissent inégalement dans les deux sens ([1]). On donne ainsi le coup dur en descendant, afin d'attaquer la charge avec ensemble, et l'on relève plus doucement, pour diminuer la succion.

Mais la véritable solution de la question consiste dans l'emploi du *clapet de retenue*, qui laisse passer l'eau foulée par le pistonnage, en s'opposant absolument à tout retour en arrière. Le bac se trouve alors transformé en une véritable pompe.

1322 — Il est clair que lorsque l'on est arrivé à supprimer, ou tout au moins, à restreindre le recul d'eau, il faut remplacer, dans le compartiment de pistonnage, le liquide qui a été refoulé dans la cuve. A cet égard, deux types peuvent se présenter.

Ou bien la même eau accomplit un circuit quelconque, pendant lequel elle s'épure plus ou moins, en déposant, dans certains com-

([1]) Haton de la Goupillière (*Traité des mécanismes*, 72).

partiments, les troubles dont elle s'est chargée, de manière à en débarrasser la charge ([1]).

Ou bien, on alimente incessamment d'eau pure, et le liquide définitivement éliminé traverse de grands bassins d'épuration, où l'on reprend, après clarification, les schlamms charbonneux. Ces bassins sont alors au nombre de deux, afin que l'un d'entre eux puisse toujours fonctionner, tandis que l'autre est mis à sec pour le curage. Le bac constitue alors, à proprement parler, le lit d'un véritable cours d'eau. Au contraire, avec les précédents, on opère avec une portion de liquide toujours la même, et l'on se borne à renouveler les pertes, dues à l'imprégnation des charges que l'on retire mouillées.

1323 — *Lavoirs continus.* — A un point de vue très différent du précédent, les bacs à piston se rangent encore en deux catégories : les lavoirs *continus*, ou *discontinus*.

Ces derniers, qui sont les plus anciens, exécutent des opérations successives et distinctes. Leur jeu est intermittent. On y verse une charge, on lui imprime un nombre suffisant de coups de piston, on arrête le jeu de cet organe, on fait écouler l'eau, et l'on partage, avec des raclettes ou des tranchoirs, la charge stratifiée, de manière à séparer les diverses sortes, qui sont versées dans des récipients distincts.

Dans les lavoirs continus, l'action ne s'arrête jamais, si ce n'est lorsqu'il y a lieu à quelque réparation. Les matières y sont déversées sur un point, convenablement choisi, à l'état de courant continu, alimenté par un distributeur approprié. Elles se classent et se stratifient, en recevant un certain nombre de coups de piston pendant leur traversée de l'appareil, dont la durée varie avec la longueur de ce dernier. La sorte la plus légère franchit un déversoir immergé sous le plan d'eau, et se rend dans le compartiment qui lui est destiné. La catégorie la plus lourde glisse sur le fond, passe sous un seuil, et arrive ainsi dans un autre récipient.

([1]) Cette réapparition du même liquide dans la cuve prend elle-même le nom de *retour d'eau*, ce qui peut prêter à quelque confusion avec le *recul de l'eau* qui s'opère à travers la charge. Il semble donc préférable d'affecter exclusivement, à ce dernier effet, l'expression de *succion*.

Des élévateurs, analogues aux norias, plongent respectivement dans ces deux enceintes. Leurs godets à claires-voies laissent filtrer le liquide, une fois qu'ils sont émergés. Ils remontent les matières à un niveau supérieur, pour les livrer à de nouvelles opérations, ou les déversent sur des couloirs, qui les chargent dans les trémies destinées à les recevoir définitivement.

Dans d'autres cas, on se sert de roues à palettes, qui écrèment la superficie incessamment renouvelée, dans les deux compartiments de séparation. Elles remontent les fragments sur un petit coursier. et les jettent au dehors, avec un peu d'eau. Ces matières tombent alors dans une auge transversale, qui borde toute une série de lavoirs, et dans laquelle une vis sans fin, en tôle, détermine une translation générale jusqu'à l'extrémité, où s'opère le chargement. Il est bon alors, au lieu de donner aux palettes toute la largeur du compartiment, de partager celle-ci en plusieurs travées, en plaçant ces palettes partielles en retraite les unes par rapport aux autres. De cette manière, on détermine, dans le liquide, un clapotis général, qui perd moins d'eau, que les vagues périodiques produites par le premier dispositif.

La continuité présente évidemment de grands avantages, qui ont procuré, à ce genre d'appareils, une grande expansion. Il n'en est pas moins vrai que l'on obtient, en thèse générale, un résultat plus net, et mieux fini, avec le lavoir discontinu, dans lequel on n'abandonne une charge, qu'après avoir poussé son traitement jusqu'au point le plus favorable, sans troubler cette opération par l'arrivée incessante de nouveaux matériaux [1].

§ 4

BACS A PISTON — TYPES SPECIAUX

1324 — Pour donner un corps à ces généralités, je décrirai ici sommairement un certain nombre de bacs à piston, choisis parmi ceux qui présentent une grande importance industrielle, ou, tout au

[1] *CRM*, 1879, 39, Baretta; 71, Wéry.

moins, quelque idée originale, et qui mérite d'être signalée en passant [1].

Lavoir Graffin. — Le lavoir de la Grand'Combe [2] présente une sole carrée (fig. 780) de 1m,35 de côté, formée de deux tamis métalliques, entre lesquels se trouve emprisonnée une couche de gravier, destinée à amortir le recul de l'eau et des mourres, au moment où remonte le piston, qui est commandé par un excentrique. Cet organe imprime un mouvement doux, quoique irrésistible, bien en rapport avec la résistance offerte par le gravier, qui en régularise l'effet. La claie supérieure présente une certaine inclinaison, à partir de la trémie de chargement. Il suit de cette diminution progressive d'épaisseur, que l'eau se dérobe plus facilement à l'autre extrémité, lors du retour du piston, d'où la production d'une sorte de vague, qui aide, ainsi que la pente elle-même, à la propulsion de la masse, de la tête vers le pied du bac. Cette progression favorise

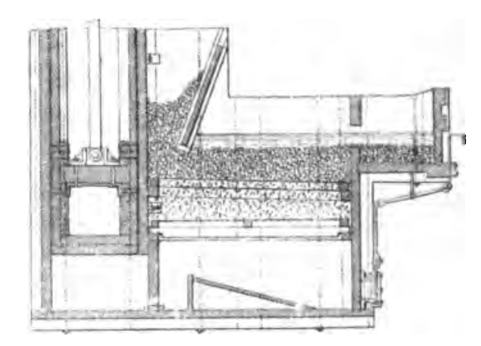


Fig. 780. Lavoir Graffin.

[1] Indépendamment des appareils dont la description trouve ici sa place, je citerai encore les lavoirs suivants : Bérard, qui a donné, en 1851, l'impulsion décisive au lavage des houilles; *Annales*, 5e, IX, 147; *Bull. min.*, 1re, II, 5; Boutan, III, 169. — Bernard (*Affaire* des lavoirs Évrard et Marsaut, pl. VII). — Brunton (*Annales*, 4e, XX, 527, Burton). — Detourbay et Scheuren (*Mémoires de la Société des ingénieurs civils*, 2e série, 18e année). — Forey. — Lavoir à schlamms de la mine de Heinitz (*Annales*, 7e, II, 140). — Huet et Geyler (Robert, *Bull. min.*, 1re, XV, 549; Huet et Geyler. *Préparation des minerais*, in-8°, Paris, 1866, p. 15). — Meynier et Coppée (*Bull. min.*, 2e, VIII, 454). — Plumb (Sauvage, *Annales*, 7e, VII, 244). — Ractmadoux, qui a été le premier en date, en 1840; Burat (*Épuration de la houille*, in-4°, 1881, p. 13). — Renodier et Porchère (*Bull. min.*, 2e, I, 495; *CRM*, 1878, 214, 225; 1879, 38, 71). — Revollier, Rexroth (*Annales*, 7e, II, 123). — Rivière (*CRM*, février 1878, 21). — Schuchtermann et Kremer (*CRM*, 1881, 80). — Sievers (*Annales*, 7e, II, 133). — Utch (Oppermann, *Annales*, 7e, XI, 274). — Hubermann. Uber den Antrieb der Setzmaschinenkolben (*Berg-und Hüttenmännisches Jahrbuch*, XXVIII, 1).

[2] Marsaut (*Bull. min.*, 2e, VIII, 458). — Boutan (*Traité d'exploitation* de Callon, III, 750).

l'arrivée d'une nouvelle quantité de matière à laver, par la trémie qui la verse près du fond. Le schiste s'y trouve, par conséquent, tout porté, et les pulsations que subit le mélange, pendant son trajet longitudinal, n'ont qu'à faire remonter le charbon à la surface. La même vague favorise également le saut, que ce dernier doit effectuer par-dessus le seuil terminal. Il tombe ainsi dans l'auge transversale, qui dessert une batterie de semblables bacs, et dans laquelle une vis sans fin détermine la translation des matières. Quant au schiste, il s'accumule progressivement sur le fond du bac. Lorsque l'on juge qu'il a acquis une épaisseur suffisante, on arrête un instant le fonctionnement, on écrème le charbon de la partie supérieure, et l'on enlève les rochers à la pelle. Le pistonnage est lent, à cause de la résistance qu'oppose le gravier. On ne donne que 12 coups par minute, mais on porte leur amplitude à $0^m,25$. On traite ainsi, en 10 heures, 12 à 20 tonnes de menus, de 20 millimètres au plus, que l'on réduit, d'une teneur comprise entre 16 et 25 °/₀ de cendres, au chiffre de 5 à 11 °/₀. La consommation d'eau est de 5 à 6 mètres cubes par jour, et la force motrice, d'un demi-cheval environ.

1325 — *Lavoir Sheppard.* — Dans cet appareil (¹), employé à Dowlais (fig. 781), le piston A se meut dans le compartiment B. Il chasse l'eau sous la claie C, en y classant les matières. La pente générale les fait couler peu à peu, depuis le point de chargement situé à gauche, vers les seuils de décharge. Le charbon lavé franchit le déversoir E, pour tomber dans l'auge inférieure. Le schiste, en s'accumulant sur la claie, passe par F dans l'auge supérieure. Les matières sont retirées de ces deux compartiments par des élévateurs *e*, *f*, immergés, jusqu'au plan d'eau du lavoir, dans

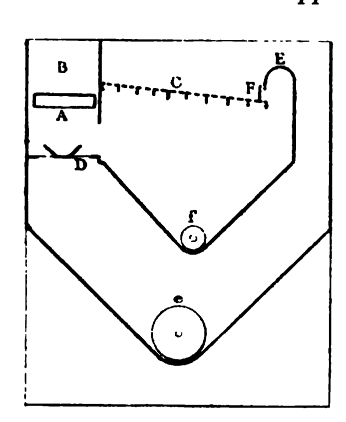


Fig. 781. Lavoir Sheppard (diagramme schématique).

(¹) Harvey. On Coal-washing (*Proceedings of the Institution of civil Engineers*, LXX).

des gaines latérales où s'exécute leur mouvement. L'eau, projetée par le pistonnage, passe également au déversoir E, et remplace, dans l'auge inférieure, celle que le piston rappelle, en remontant, à travers les clapets D, largement ouverts afin d'amortir, autant que possible, la succion à travers la charge. Leur effet a paru assez satisfaisant, pour permettre de supprimer le clapet de retenue, établi autrefois dans le passage qui fait communiquer le compartiment de pistonnage avec la cuve, en vue de supprimer tout recul de l'eau. On arrive ainsi à passer, en 10 heures, 300 tonnes d'un charbon un peu gros, et débarrassé de ses poussières. On ne change l'eau que lorsque l'on nettoie l'appareil, toutes les semaines, ou tous les mois, suivant la nature du combustible.

1326 — *Lavoir à couronne Évrard.* — M. Maximilien Évrard a imaginé un appareil de criblage d'un type absolument spécial, et qui se distingue, en outre, par des dimensions tout à fait exceptionnelles. Une grande couronne circulaire de 10 mètres de diamètre, formée d'une tôle perforée, tourne lentement autour d'un axe légèrement dévié de la verticale. Ce plateau se trouve donc lui-même incliné d'un angle égal sur l'horizon. Sa rotation est facilitée par un système de galets, analogues à ceux des plaques tournantes. Il est plongé dans l'eau, de telle sorte que la charge émerge pendant un tiers environ de la rotation. Un piston central imprime, au liquide, une centaine de pulsations pendant la traversée. Les matières sont données par un distributeur, et immergées immédiatement après par la rotation. Elles se classent dans le trajet. A l'autre extrémité, des palettes écrèment les produits et les déversent dans les couloirs respectifs, qui les conduisent aux wagons préparés pour les recevoir. Cet appareil méritait d'être cité pour sa disposition originale, mais il est d'un entretien très coûteux, et ne s'est pas répandu [1].

[1] Il a été construit à Épinac, sur un axe incliné; et à Roche-la-Molière, avec un axe vertical pour plus de simplicité. On reprend alors sous l'eau, à l'aide de dragues, les matières classées.

1327 — *Lavoir à vapeur Évrard.* — Le même ingénieur est l'auteur d'un autre appareil de lavage, établi sur des dimensions considérables ([1]). Il se distingue immédiatement de tous les autres bacs à piston, par une différence analogue à celle qui sépare, des pompes ordinaires, les pompes à action directe (n° 967). Le piston y est, en effet, supprimé, et son action remplacée par le contact direct avec la vapeur, dont les admissions périodiques viennent comprimer la surface de l'eau.

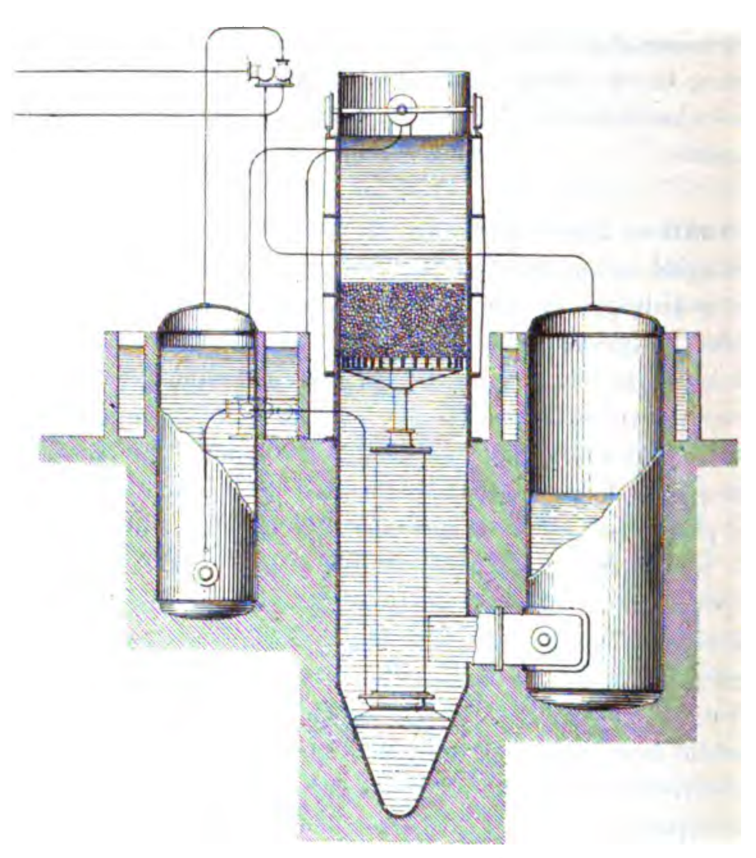


Fig. 782. Lavoir à vapeur Maximilien Évrard.

Le système se compose (fig. 782) d'une *cuve de lavage* ronde ou rectangulaire, ouverte par le haut, et présentant 5 à 6 mètres carrés

([1]) *Bull. min.*, 1re, IX; 2e, II, 281; V; VI, 419. — *Bull. Soc. d'enc.*, janvier 1875.

de section sur 7 à 8 mètres de profondeur, sans toutefois que ces dimensions aient rien d'absolu. Une *cuve de pistonnage*, de même section, mais de moindre hauteur, et fermée à la partie supérieure, communique avec la précédente. Il suffit donc d'admettre la vapeur au sommet de cette enceinte, pour refouler l'eau qu'elle renferme, vers la cuve de lavage. Dans ce mouvement, le liquide traverse la claie placée à 2 mètres du sommet de cette cuve, ainsi que la charge, d'environ 4 tonnes, qui s'y trouve placée. L'opération est conduite de la manière suivante.

On ouvre le robinet de vapeur, pour mettre la cuve de pistonnage en pression, et relever l'eau, d'un mètre à peu près, au-dessus de la claie. On y fait alors tomber la charge à travers une grille, pour la mieux diviser, afin qu'elle se mouille convenablement. On imprime ensuite un certain nombre d'impulsions au liquide, de manière à le faire remonter à travers le charbon, soit d'un mouvement progressif et toujours de même sens, bien qu'intermittent, soit d'un mouvement alternatif, dans lequel, toutefois, l'ascension l'emporte en définitive sur la descente, suivant l'allure qui semble préférable. Lorsque l'eau est parvenue à la partie supérieure de la cuve, on ferme l'admission, et l'on met à l'échappement. Pour recueillir les produits, on admet la vapeur dans un troisième récipient, appelé *cuve de pression*. Elle y exerce sa tension sur la surface du liquide, qui la transmet au piston de l'élévateur. Celui-ci enlève alors la claie jusqu'à la partie supérieure, en déversant, dans un *décanteur*, l'eau qui se trouve soulevée, en raison de l'imperméabilité de la charge, surmontée d'une couche de limons, qui ont été lavés par le courant hors de la charge, et s'y déposent, en partie, pendant le temps d'arrêt que l'on ménage dans ce but. La charge est alors découpée en tranches, à l'aide d'un racloir, comme nous l'avont déjà vu dans une autre occasion (n° 1315). Avec les dimensions qui ont été indiquées, la production peut atteindre 200 tonnes par jour [1].

1328 — *Bac de Moresnet* [2]. — Après ces appareils, spécia-

[1] Cet appareil a été installé à Montcel-Sorbiers, Givors, la Chazotte, Roche-la-Molière.

[2] Matrot, *Annales*, 6e, XII.

lement destinés au lavage des combustibles, je décrirai, comme exemple d'application aux minerais métalliques, le bac à piston continu, à deux tamis, de la Vieille-Montagne (fig. 783 et 784).

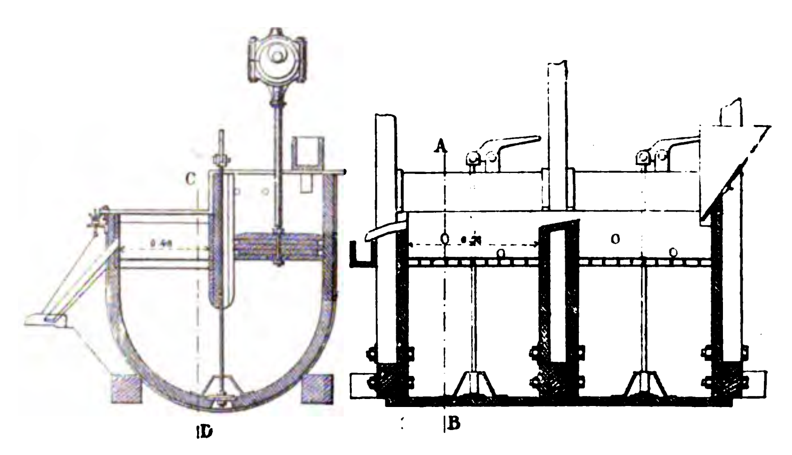


Fig. 783, 784. Bac continu de Moresnet (coupes longitudinale et transversale).

La lavée est donnée à l'aide d'une trémie, dans la travée de droite. Elle y subit un premier classement. Le plus lourd forme une couche sur le fond, et s'écoule uniformément, par l'orifice affleurant à la claie, et le tuyau de plomb qui s'y rattache. Le débit est réglé à l'aide d'un petit registre placé à l'extrémité, et d'après le degré d'inclinaison que l'on donne au tuyau. Une seconde matière riche constitue un horizon intermédiaire, et alimente le second orifice, placé à un niveau supérieur au premier. Le surplus franchit le seuil, proportionnellement au temps, et s'étale sur le second tamis. Il y forme encore, sous l'influence du pistonnage, deux couches de moins en moins riches, que l'on évacue de la même manière; et le stérile s'écoule enfin par-dessus le déversoir.

Le piston est actionné par un excentrique, dans un compartiment voisin, lequel est muni d'un clapet de fond, destiné à expulser, de temps en temps, les schlamms qui s'y accumulent.

Les orifices ouverts dans la paroi présentent le défaut d'exercer, par le fait de cet écoulement, un appel dissymétrique sur les diverses couches. On a cherché à y remédier, au moyen des *cloches d'évacuation* (fig. 785). La sortie des matières de la surface

s'effectuant toujours en déversoir, celle de la couche inférieure se produit alors d'une manière régulière, à travers le tube annulaire, dans lequel elles s'engagent par-dessous, en s'y élevant sous la pression de la charge, à peu près comme le font, dans des vases communiquants, deux liquides de densités différentes. La matière lourde finit par atteindre la fenêtre, qui lui donne issue dans le tube d'évacuation. Les tuyaux sont à coulisse, pour permettre de régler les niveaux, et, par suite, l'écoulement, ainsi que la durée du séjour des matières, en vue de concilier le degré d'activité désirable, avec le bon finissage de l'enrichissement.

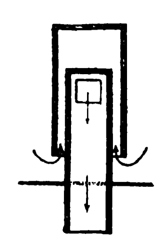


Fig. 785. Cloche d'évacuation.

1329 — *Crible du Hartz à fond filtrant, lavoir à feldspath.* — Bien que, dans l'appareil précédent, l'action soit rendue symétrique pour toutes les directions, autour du centre de la claie, il subsistera encore une certaine inégalité, dans l'appel exercé à diverses distances, et, par suite, des perturbations suivant la hauteur. Pour les faire disparaître, il suffirait (en se plaçant, pour un instant, à un point de vue abstrait), d'imaginer que l'on multiplie indéfiniment ces cloches, dans toute l'étendue du tamis. Il est bien évident, à la vérité, que si l'on venait à la réaliser, une telle complication dépasserait de beaucoup l'avantage obtenu. C'est pourtant à un mécanisme d'évacuation tout à fait identique que l'on est arrivé, en constituant l'un des appareils les plus simples, les plus élégants, et les plus efficaces de la préparation mécanique : le *crible à fond filtrant,* souvent appelé *crible du Hartz* (¹).

Imaginons que l'on veuille traiter une matière calibrée avec soin, et dont je désignerai le diamètre par n millimètres. On formera le fond du bac (fig. 786, 787) d'une tôle perforée, dont les trous présentent un diamètre un peu plus grand, par exemple $n + 1$ millimètres, pour fixer les idées. Dans ces conditions, il est clair que la

(¹) Landrivon. Cribles à feldspath (*Bull. min.*, 2ᵉ, XII, 393). — Crible de Saint-Éloy (*CRM*, 1881, 229). — Matrot, Aftersetzmaschine (*Annales*, 6ᵉ, XII, 355). — Pernolet (*Annales*, 7ᵉ, II). — *Berg-und Hüttenmännische Zeitung*, décembre 1867.

charge entière filtrerait immédiatement, surtout en présence de l'eau, et sous l'influence des secousses. Mais on a soin de transformer ces trous innombrables en autant de soupapes d'évacuation. A cet effet, avant de verser la charge sur la claie, on recouvre celle-ci d'une couche mince de grenailles, trop grosses pour pouvoir la traverser, et présentant, par exemple, un diamètre minimum de $n + 2$ millimètres, ainsi qu'une densité légèrement supérieure à celle de la sorte la plus lourde. Nous désignerons ces grains sous le nom de *clapets*, pour les distinguer de ceux qui constituent le minerai. Cela posé, il est facile de concevoir la manière dont les choses se passeront.

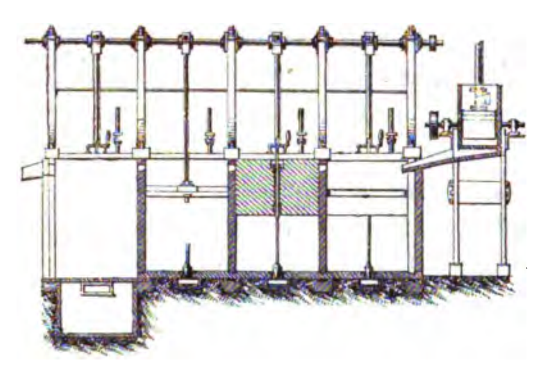


Fig. 786. Crible du Hartz à sole filtrante (coupe longitudinale).

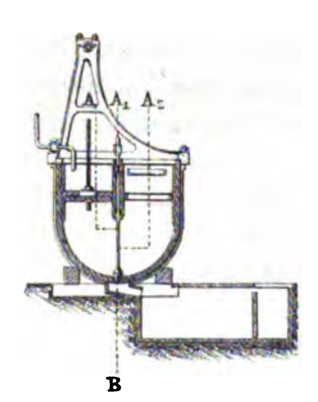


Fig. 787. Crible du Hartz à sole filtrante (coupe transversale).

Lors du coup de fouet, imprimé sous la claie par l'action du pistonnage, les clapets se soulèvent pour livrer passage à l'eau. Avec eux, se trouve enlevée toute la charge. Cet ensemble retombe aussitôt, pour se soulever de nouveau, de manière à produire le classement, dans les conditions ordinaires du bac à piston. Les clapets, en raison de la supériorité de leur densité et de leur diamètre, continueront à occuper le fond. Seulement, la précision de la levée et de la chute de ce rideau ne saurait être telle, que les derniers grains de la charge, formant en quelque sorte sa *pellicule* la plus inférieure, ne se glissent au milieu des clapets, de manière à aborder eux-mêmes les trous. Mais cela ne saurait arriver en aucune façon,

en raison de leur éloignement, pour les éléments destinés aux couches supérieures, qui sont versés d'une manière continue dans cette région avec l'ensemble des matières, et ne peuvent, d'après leur équivalence, traverser l'épaisseur de la charge, pour pénétrer dans ces profondeurs. Dès qu'un grain de minerai a réussi à se glisser jusqu'à la grille, il chavire à travers un des trous, et tombe dans le fond de la cuve. Il s'opère ainsi une *filtration* continue [1], portant exclusivement, je le répète, sur la sorte la plus riche et la plus concentrée. Au contraire, les stériles, qui se réunissent à la surface, sont évacués, comme à l'ordinaire, en déversoir. Lorsqu'une quantité suffisante de bon à fondre se trouve accumulée dans la cuve inférieure, on soulève, à l'aide d'une tige, la soupape de fond, et l'on donne une chasse pour la recueillir, après quoi l'on restitue une quantité de liquide équivalente. Dans certains cas, cet orifice reste ouvert en permanence, et réglé avec précision, de manière à expulser les matières d'une manière continue, en perdant le moins d'eau possible. La consommation dépasse alors un tiers de mètre cube par minute.

Tel est le jeu de ce remarquable appareil, qui constitue un excellent finisseur. Portons maintenant notre attention sur les diverses parties qui le composent.

1330 — Le choix des clapets doit être fait attentivement. Le plus simple est de prendre de grosses grenailles de la substance riche elle-même, c'est-à-dire, par exemple, de galène, pour le lavage d'un minerai de plomb. On apporte ainsi, par l'identité des densités, le plus de délicatesse possible, pour permettre au minerai de se glisser au milieu des clapets. En même temps, le diamètre supérieur de ces derniers leur assure une équivalence suffisante, pour les maintenir sur la claie, et les empêcher de remonter. Le plomb de chasse convient bien aussi, par sa forme rigoureusement sphérique, qui fournit un véritable clapet en *postillon* (n° 921), et assure la fermeture des trous.

[1] Cet effet est si nettement accusé, qu'il détermine la production d'une véritable force, d'une succion, d'un appel, très légers sans doute, mais que l'on ressent facilement en immergeant la main dans la charge, pendant le pistonnage.

Pour le lavage de la houille, on a employé les matières les plus diverses de densité un peu supérieure à celle du schiste : de petits galets de rivière, le basalte, la fluorine, la barytine, le quartz, le feldspath. Cette dernière substance domine exclusivement en Allemagne [1], et a motivé, pour ce genre d'appareils, la dénomination de *lavoirs à feldspath*. Leur jeu ne diffère de celui des cribles du Hartz ordinaires que par cette circonstance, que la matière utile s'échappe en déversoir et le stérile par le fond, à l'inverse de ce qui a lieu pour les minerais métalliques.

Le feldspath se recommande par sa forme cristalline, à arêtes dures. Celles-ci servent de charnières, pour permettre aux clapets des mouvements de bascule, qui découvrent les ouvertures, sans qu'il soit pour cela nécessaire que ces corps s'enlèvent entièrement au-dessus de la claie. On a même soin de renouveler les cristaux, dès que leurs arêtes s'arrondissent. Depuis l'introduction de cet artifice, on a complètement renoncé à l'emploi des petits galets de rivière, dont la forme arrondie est tout l'opposé de la précédente. Mais des essais, faits en France, semblent indiquer une réelle supériorité en faveur de certains quartz très communs, qui se clivent en tables, et s'usent encore moins que le feldspath.

L'épaisseur de la couche de clapets est d'autant plus grande, que l'on cherche à gêner davantage, et, par conséquent, à ralentir l'évacuation, en prolongeant la durée du traitement pour perfectionner l'enrichissement. Cependant elle ne dépasse jamais 2 centimètres pour les grenailles métalliques et 8 centimètres pour le feldspath. On la réglera, dans chaque cas, par tâtonnements.

1331 — Un second point très essentiel consiste dans la fréquence et la nature des secousses. Leur nombre varie depuis 60 ou 80 coups par minute, pour de gros sables de 2 millimètres, jusqu'à 200 ou 300, et même, exceptionnellement, 400 coups, pour des schlichs voisins des schlamms.

Un lavoir à feldspath peut, à raison de 100 ou 150 coups, passer

[1] Le feldspath des lavoirs allemands est tiré, presque universellement, d'un filon de Norwège. Sa densité varie de 2,54 à 2,62.

de 6 à 8 tonnes par jour, avec une consommation de 20 mètres cubes d'eau. On arrive ainsi à des teneurs en cendres de 10, et même parfois 5 %. Mais ces chiffres sont essentiellement relatifs. Il n'est évidemment pas au pouvoir de l'appareil le plus perfectionné, de réduire la proportion de la matière terreuse finement disséminée, qui est incorporée à la houille, si telle est la nature du combustible. Quant à la partie stérile, qui est distincte du charbon, et peut, en principe, en être séparée, il y aura lieu d'examiner si l'insistance qu'il sera, pour cela, nécessaire d'apporter dans le traitement, n'est pas de nature à entraîner des pertes de produits mixtes, dont la valeur intrinsèque dépasse la plus-value, ainsi réalisée pour la sorte marchande.

L'amplitude des oscillations varie, dans les mêmes circonstances, de 10 à 5 millimètres, et se réduit même, pour les substances les plus fines, à un simple tremblement. On peut faire varier cette excursion, sur un même appareil, au moyen d'un artifice très simple, qui consiste à commander le piston, non pas avec un excentrique ordinaire unique, monté directement sur l'arbre, mais à l'aide d'un système de deux excentriques, dont l'un porte le noyau de l'autre, et que l'on peut caler dans des situations arbitraires. L'excursion résultante peut être ainsi réglée à volonté, entre un maximum et un minimum, qui sont la somme et la différence des deux excentricités.

§ 5

APPAREILS A COURANT ASCENDANT

1332 — Si nous nous reportons, pour un instant, en arrière, nous voyons que, de la chute prolongée en eau stagnante, qui forme le point de départ du criblage à la cuve, nous sommes passés à une succession de petits mouvements, dans un bain également en repos. Ensuite, par la considération du mouvement relatif, nous en avons déduit le bac à piston, dans lequel, inversement, la charge est immobile, et l'eau se trouve lancée contre elle, avec de petits mouvements propres. Nous nous trouvons dès lors amenés natu-

rellement à compléter ce cycle d'idées, en conservant le mouvement relatif, mais lui restituant l'étendue et la continuité qui caractérisent la première des trois combinaisons précédentes.

Ce quatrième mode consistera donc à faire traverser la charge par un courant ascendant continu. Dans ces conditions, un certain numéro précis d'équivalence, en relation avec la vitesse V du courant, d'après la dimension l du grain et sa densité δ (suivant l'équation 3, page 727), restera, en quelque sorte, suspendue sur ce courant. Les valeurs plus élevées appartiendront à des grains qui tomberont au fond, malgré l'action de la source; et les valeurs moindres, à des matières qui seront entraînées au fil de l'eau, vers la partie supérieure. De là, une nouvelle classe d'appareils de classement par équivalence, que l'on désigne sous le nom d'*appareils à courant ascendant*, ou *wasserstromapparat*. Ils sont, comme les précédents, susceptibles de nombreux dispositifs [1].

M. Thoulet a exécuté un ensemble intéressant d'expériences, pour déterminer la vitesse V capable de maintenir en suspension des grains de divers diamètres, ainsi que l'effort F exercé sur eux. Il a donné, à cet égard, un tableau très détaillé [2], dont nous extrayons les résultats suivants. Les diamètres y sont exprimés en millimètres, les vitesses en millimètres par seconde, et les poids en milligrammes.

[1] Indépendamment de ceux de ces appareils que nous décrivons plus loin, on peut encore citer les suivants : Bac d'Engis (Boutan, *Traité d'exploitation de Callon*, III, 67). — Sizing-box. — Spitzlutte (*Annales*, 7e, II, 285). — Lavoir Thirion (Boutan, *ibidem*, 69). — Schlammpeter (Henry, *Annales*, 6e, XIX, 355). — Appareils de Saint-Goar (*ibidem*, 349).

[2] *Annales*, 8e, V, 521.

DENSITÉ	$\delta = 1,5$		$\delta = 2,0$		$\delta = 2,5$		$\delta = 3,0$		$\delta = 3,5$		$\delta = 4,0$	
DIAMÈTRE	V	F	V	F	V	F	V	F	V	F	V	F
0,2	15	0,0002	25	0,004	32	0,006	40	0,008	47	0,01	53	0,01
1,0	51	0,0300	82	0,520	107	0 780	132	1,050	151	1,31	168	1,56
2,0	72	0,2100	125	4,100	161	6,280	195	8,380	224	10,47	252	12,56
3,0	84	0,7100	144	14,150	188	21,210	220	28,270	267	35,34	295	42,42
4,0	94	1,6700	154	35,500	201	50,270	246	67,020	283	83,78	315	100,54
5,0	98	3,2700	156	65,440	206	98,170	255	130,900	292	163,62	324	196,35

1333 — *Heberwäsche.* — M. Osterpey a imaginé, pour la laverie de Mechernich, le laveur suivant, qui fonctionne sous une pression importante (fig. 788, 789, 790). L'eau est reçue dans le compartiment central, qui a 16 mètres de haut, et passe dans celui de

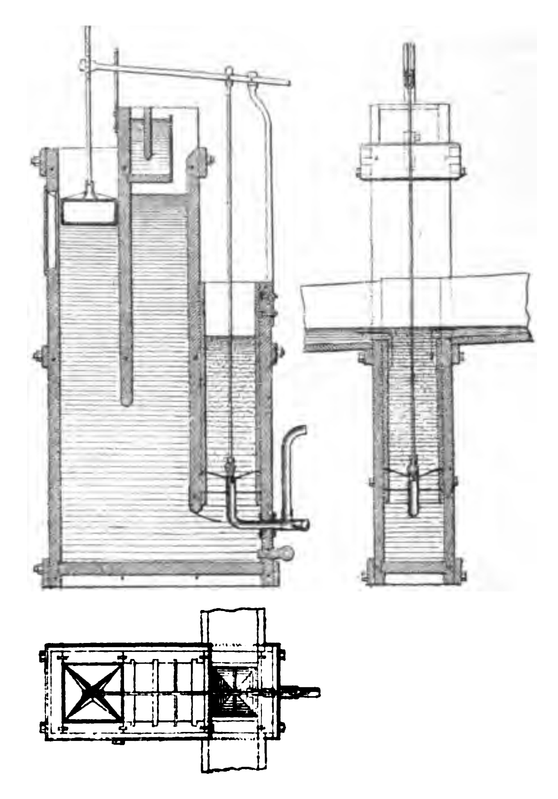


Fig. 788, 789, 790. Heberwäsche (plan et coupes verticales).

droite, à travers un tamis trop fin pour se laisser traverser par le minerai. La lavée, amenée par un courant de surface au-dessus de cette cuve, y chavire, les parties lourdes tombant sur la claie, tandis que les matières légères sont relevées par le courant de fond, et continuent leur chemin horizontalement.

Lorsqu'une quantité importante de grenaille s'est déposée sur le tamis, elle en bouche les pores, amortit la force de l'eau, et risquerait de troubler les conditions de l'opération. Mais cette résis-

tance, en exigeant une plus grande pression, fait monter le niveau, dans le compartiment de gauche. Elle y soulève un piston qui fait basculer un levier, et enlève le bouchon du fond de la cuve. L'orifice, ainsi ouvert, livre passage à la charge, qui se dégorge par le tuyau d'évacuation; après quoi tout recommence.

Le réglage dépend de la hauteur que l'on donne au piston, à l'aide de son attache variable sur le levier. Cet organe, d'une très grande activité, peut passer 1400 à 1500 tonnes en 24 heures.

1334 — *Classeur Dor.* — L'appareil [1] se compose d'un certain nombre de barillets en zinc superposés (fig. 791). Le courant jaillit par le tuyau de fond. Refoulé par le cône, dans lequel il débouche, il s'épanouit en nappe, et vient couper, au pied, la colonne descendante qui amène la lavée. Il la refoule avec les matières légères, qui sont reçues dans un compartiment latéral. Les parties lourdes tombent dans le barillet suivant, où un courant plus fort opère un nouveau départ. Le volume des récipients va en se restreignant successivement, puisque la matière diminue elle-même progressivement, et que l'eau les traverse de plus en plus vite.

Cet appareil, qui est un éboueur très net, pour séparer des substances notablement différentes, fait peu de besogne, et dépense beaucoup d'eau. Il peut traiter 4 tonnes environ en 10 heures.

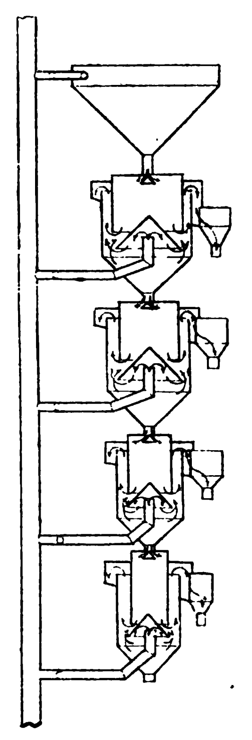


Fig. 791. Classeur Dor.

1335 — *Classificateur Buttgenbach.* — Ce classeur vient d'être proposé [2] pour le traitement des schlamms charbonneux (fig. 792, 793).

[1] *Rev. univ. d. m. et u.*, 1869, 631.
[2] Holtzer, *CRM*, 1884, 71.

La lavée est donnée par le chenal A. Elle descend par le conduit B et pénètre, à travers l'ouverture C, dans le compartiment D, qu'elle parcourt d'abord en descendant, puis en remontant. Les conditions d'équilibre dans le courant ascendant, déterminent, au point le plus bas, le dépôt d'une certaine sorte déterminée, encore facilité par la force centrifuge due à ce changement de direction. Un agita-

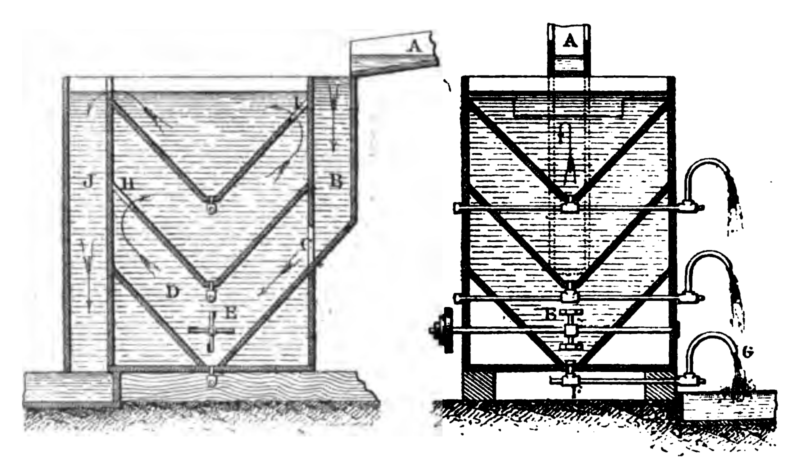


Fig. 792, 793. Classificateur Buttgenbach (coupes longitudinale et transversale).

teur E empêche ces matières de se prendre en masse. Elles sont évacuées par le tuyautage FG. Le reste atteint, par l'orifice H, le second compartiment, et, en I, le troisième. Dans l'un et l'autre, se déposent des sortes différentes; car le courant s'est affaibli successivement, en raison des pertes d'eau dues aux tuyautages d'évacuation. Le surplus disparaît enfin par le conduit J.

Cet appareil paraît simple. Une fois réglé, il exige peu de surveillance. Avec une caisse de $1^m,50$ de côté et $2^m,00$ de hauteur, on est arrivé à traiter 20 à 30 tonnes par jour.

1336 — *Lavoirs à barrages.* — On a essayé récemment [1], au charbonnage Friedrich-Wilhelm (Dortmund), un appareil de lavage consistant en une auge, barrée de distance en distance par une planche, au pied de laquelle sourd un courant de fond, qui aide les

[1] Peters (*Rev. univ. d. m. et u.*, 2e, XV, 253).

matières à sauter par-dessus ce barrage. Les charbons y réussissent, le schiste s'accumule au pied du seuil.

On peut rattacher, à ce principe, la plupart des appareils employés, sur les placers, pour le lavage de l'or. On met la lavée en mouvement dans un chenal coupé par des ressauts. Le courant est forcé de se redresser pour franchir l'obstacle. Il fait remonter avec lui les grains dont l'équivalence le permet, sans avoir, pour cela, comme dans le cas précédent, le secours d'un courant étranger venant du fond.

Le *berceau* (*fig.* 794) en est le type le plus rudimentaire. A la tête, se trouve un crible, sur lequel on jette les matières, et qui retient les plus gros morceaux. Une toile inclinée dirige les sables fins vers le sommet de la table, où commence l'écoulement. L'ensemble de l'appareil est susceptible d'un balancement transversal, analogue à celui d'un berceau d'enfant. Ce mouvement sert à brasser les matières, pour dégager les parties lourdes, de celles qu'elles ne doivent pas retenir. La poudre d'or la plus fine est facilement entraînée avec ce dispositif, ce qui occasionne un déchet considérable.

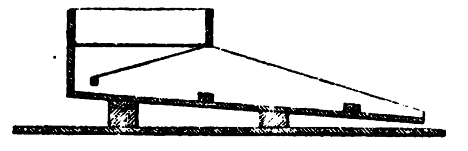


Fig. 794. Berceau.

Le *long-tom* est un organe analogue et plus puissant. On a soin d'y verser, derrière les planchettes transversales, du mercure, qui fixe l'or au passage, et diminue la perte des parties fines.

Le *sluice-boxe* réalise, sur une très grande échelle, cette intervention du mercure. Il se compose d'un canal en charpente de $1^m,00$ à $1^m,80$ de largeur sur $1^m,00$ de profondeur, et une longueur absolument indéfinie, qui atteint quelquefois 1 ou 2 kilomètres. Les parois latérales sont garanties contre le frottement des matières, par des revêtements en planches, que l'on renouvelle quand ils sont usés. Le fond est suffisamment préservé par un pavage en gros blocs, arc-boutés avec des cailloux d'un moindre calibre, de manière à ne pouvoir être déchaussés par le courant. On achève de remplir les intervalles avec des cailloutis, et l'on verse, à l'aide d'un

arrosoir en fer, du mercure sur toute la longueur, à raison d'une quinzaine de kilogrammes par hectomètre. On l'accumule de préférence à la partie supérieure, car il aura une certaine tendance à descendre sur la pente, qui varie de 2 à 6 centimètres par mètre. Les matières à laver sont charriées par un fort courant d'eau. Les substances pierreuses glissent sur le mercure. L'or y pénètre en raison de sa densité, ce qui lui permet de s'amalgamer progressivement. On écarte les plus gros morceaux au moyen de grilles, sur lesquelles ils roulent, et sont rejetés hors du canal. On élimine de même, pour les traiter à part, les sables les plus fins à l'aide d'*under-currents*, sortes de cribles pratiqués dans le fond du sluice-boxe, où ils ménagent la fuite de ces matières, avec une partie de l'eau. Elles barbottent ainsi plus librement, dans le mercure de ce couloir secondaire, et rentrent, plus loin, dans le courant général. Lorsque l'on pense que le mercure est assez chargé, on arrête l'opération, et l'on dépave le canal, en lavant ses matériaux à l'eau pure. On recueille l'amalgame, qui se rassemble derrière de petits barrages ménagés sur le fond du canal. La consommation d'eau peut être estimée à dix fois le volume du gravier soumis au lavage; mais elle reste, bien entendu, très variable.

1337 — *Lavoirs à rainures.* — Un effet analogue s'obtient en disposant, transversalement, des rainures au lieu de saillies. Le courant s'y engouffre, et, avec lui, des matières qui ne peuvent plus, ensuite, en sortir, tandis que les plus légères continuent au fil de l'eau.

L'*ingenio*, employé dans l'Amérique du Sud (1), est un canal dont les parois sont muraillées et le fond empierré. A l'entrée, se trouve une cavité formant ressaut, suivie d'une partie plane, recouverte d'une grosse toile, de rouleaux de mousse, et de treillis de roseaux. A la fin de la journée, on relève ces rouleaux, ainsi que les nattes, et on les lave avec soin, pour recueillir l'or qui s'y est arrêté.

Dans leur *appareil à angles déterminés*, MM. Rivière-Dejean et Allain (2) établissent, en tête, un débourbeur destiné à rendre aussi indépendantes que possible, les parcelles qu'il s'agit de recueillir.

(1) *Génie civil*, V, 221.
(2) Rapport de M. de Cizancourt. Alais, 1878.

Les matières aurifères passent ensuite sur une table inclinée de 10 à 14 degrés, et portant des rainures transversales d'une forme déterminée. Elle est, pour la facilité de la manœuvre et du transport, constituée de segments distincts, au nombre de 15, pesant 12 kilogrammes, et portant chacun une rainure. Le courant glisse sur la table, chavire dans les rainures, où l'eau se brise, et ressort du fond, pour continuer son cours. Elle relève facilement les matières légères, et les entraîne plus loin; mais les parties lourdes restent dans ces sortes de fossés, sans que le courant ait la puissance de les en extraire. Le contenu de ces rigoles s'enrichit ainsi progressivement. L'ouvrier le sollicite doucement, pour y remettre en suspension les pierres qui tendraient à s'arc-bouter, et leur permettre de reprendre leur course. Il arrête l'opération, lorsque les sables sont suffisamment enrichis, et les recueille en reprenant, l'un après l'autre, les segments qui composent la table.

L'appareil Thénot [1] présente également une série de ressauts, dont le fond est rempli de mercure, pour effectuer l'amalgamation; mais la complication et le soin avec lesquels il est établi, nous amènent aux confins de la métallurgie proprement dite, sur le domaine de laquelle nous ne voulons pas empiéter.

§ 6

APPAREILS A COURANT HORIZONTAL

1338 — *Généralités.* — Le principe du criblage à la cuve, dont nous venons de passer en revue les quatre manières d'être fondamentales, a son point de départ dans le mouvement effectué, au sein d'un milieu résistant, par un grain soumis, à partir de l'état de repos, à l'action de la pesanteur. La gravité lui communique progressivement une vitesse, que le corps ne possédait pas à l'avance, et qui va constamment en augmentant, bien que la réaction du liquide ait pour effet de modérer la rapidité de l'accroissement qu'elle prendrait, sans cela, dans le vide.

(1) *CRM*, 1884, 131.

Un mode d'action qui, malgré son analogie apparente avec le précédent, présente, au fond, une différence fondamentale, consiste à lancer le grain horizontalement, avec une vitesse initiale, et à l'abandonner, en cet état, à l'influence d'un milieu résistant. La pesanteur agissant alors dans un sens transversal, le corps décrit, en réalité, une trajectoire curviligne. Cette recherche constitue un problème bien connu en mécanique : celui du mouvement des projectiles. On a réussi à ramener aux quadratures l'intégration de ses équations. Mais elles n'en restent pas moins d'une complication hors de mesure avec la nature des études qui nous occupent en ce moment. Il nous suffira ici, pour chercher la loi du mouvement horizontal, de faire abstraction de la chute verticale, qui a des débuts très lents, puisque la vitesse initiale n'a pas de composante dans ce sens. La pesanteur ayant une projection nulle sur cette direction, la seule force qui ait à figurer dans l'expression de l'accélération de ce mouvement rectiligne, sera la résistance du milieu, essentiellement retardatrice. La vitesse initiale ira donc continuellement en diminuant, à l'inverse de ce qui a lieu dans le criblage à la cuve, où elle est sans cesse croissante.

L'expression de la force totale garde encore, avec les notations du n° 1304, la valeur $\frac{al^3\delta}{g}\frac{dv}{dt}$, et la somme algébrique des projections, sur la direction du mouvement, de toutes les forces agissantes, se réduit à la résistance bl^2v^2. On aura donc, en divisant les deux membres par l^2 :

$$\frac{a}{g}l\delta\frac{dv}{dt} = -bv^2.$$

L'intégration de cette équation serait bien facile, mais il est inutile de la développer, car il suffit de remarquer que la constitution du corps influence cette loi de mouvement uniquement par *le produit* $l\delta$ *de son diamètre et de sa densité* ABSOLUE. Si donc deux grains présentent des dimensions et des densités inversement proportionnelles, ils chemineront de conserve, et subiront le même sort. De là, un nouveau genre d'équivalence, distinct de l'ancien, en ce que, dans la

fonction caractéristique $l(\delta - 1)$, la *densité absolue* a pris la place de la *densité dans l'eau*. On a basé, sur ce mode d'action, divers appareils de classement [1].

1339 — *Spitzkasten*. — Les *spitzkasten* ou *caisses pointues*, dues à M. de Rittinger, présentent la forme d'un tronc de pyramide quadrangulaire (fig. 795, 796). On les dispose, à la suite l'une de

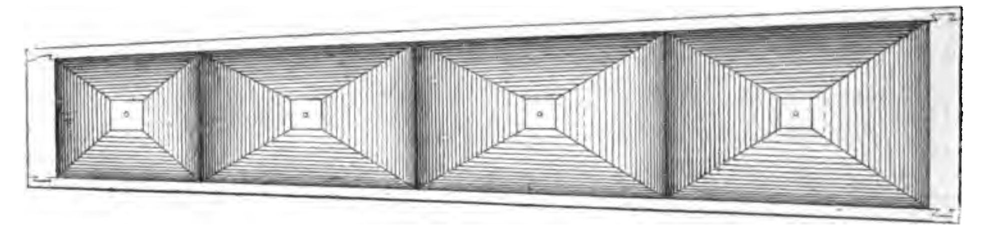


Fig. 795. Spitzkasten (plan horizontal).

l'autre, et légèrement en cascade, avec des dimensions croissantes. Un courant d'eau règne de la tête au pied de l'appareil. Il est clair que, dans ces conditions, il s'amortit en débouchant dans chaque caisse, en raison de l'énorme variation que subit sa section; mais il reprend ensuite une certaine vitesse, sur chacun des *hauts-fonds*, qui forment la transition d'une caisse à l'autre. Le grain se trouve ainsi, à chaque passage, lancé horizontalement dans un milieu, que l'on peut considérer comme stagnant. Les matières éprouveront dès lors, pendant la traversée de chaque caisse, le genre d'action qui vient d'être décrit, et les différents fragments seront influencés, d'après les valeurs du produit $l\delta$ afférentes à chacun d'eux. Les uns verront leur vitesse horizontale très amortie. La pesanteur aura donc le temps de les abaisser d'une quantité telle, qu'il leur deviendra impossible de gravir la contre-pente, pour

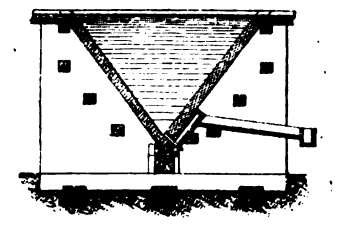


Fig. 796.
Spitzkasten (coupe verticale).

(1) Je citerai encore, indépendamment des suivants, le trichter, et le spitzgerenne (*Annales*, 6e, XII, 353).

remonter sur le seuil suivant. Ils achèveront, par suite, de tomber au fond de la caisse, et se trouveront définitivement séparés de la masse. Les autres, à peine influencés par la gravité, franchiront l'intervalle. Une seconde caisse détachera alors une nouvelle sorte, en raison de la différence de sa section avec la précédente, qui produira une variation correspondante dans la vitesse. Celle-ci, plus réduite encore que précédemment, demeurera impuissante à relever certains grains, qui avaient pu franchir le premier obstacle. Le triage continuera dans les caisses suivantes. On aura ainsi, en définitive, isolé, dans des récipients distincts, des sortes qui différeront par la valeur du produit $l\delta$, correspondant à la nature des grains qui les composent.

Tantôt on ouvre, de temps en temps, les caisses à l'aide d'une bonde de fond, que l'on soulève pour donner une chasse. D'autres fois le débit est continu, comme l'indique la figure 796, et les matières sortent d'une manière incessante, avec une quantité d'eau que l'on cherche à réduire au strict nécessaire.

1340 — Les spitzkasten, et, avec moins de perfection, le labyrinthe, dont nous parlerons bientôt (n° 1360), jouent, à l'égard des matières les plus fines (réservées pour les tables de lavage, d'après les méthodes qui feront l'objet du chapitre suivant), un rôle semblable à celui des classeurs de volume, pour les sables plus gros et les grenailles destinés au criblage à la cuve. Nous avons reconnu (n° 1306) que le classement forme alors une condition indispensable à la rigueur de l'opération. Une certaine homogénéité est également nécessaire pour que le lavage sur les tables s'effectue dans des conditions satisfaisantes. Comme il devient impossible d'opérer industriellement, pour des matières aussi ténues, le classement d'après le simple diamètre, on cherche, du moins, à en approcher jusqu'à un certain point, au moyen d'une classification procédant d'après le produit $l\delta$, pour obtenir un sortissage préalable.

1341 — *Classeur de Steinenbrück.* — Les spitzkasten sont extrêmement encombrants. On a réussi à condenser le même mode d'ac-

tion, à l'aide du dispositif que représente la figure 797. Les grains débouchent ensemble, avec une même vitesse initiale, dans une caisse parallélipipédique assez allongée. Les deux genres d'équivalence ont alors le temps de les solliciter à la fois : 1° par le refoulement de la vitesse horizontale acquise, d'après l'expression $l\delta$; 2° par le développement progressif de la vitesse verticale, d'abord

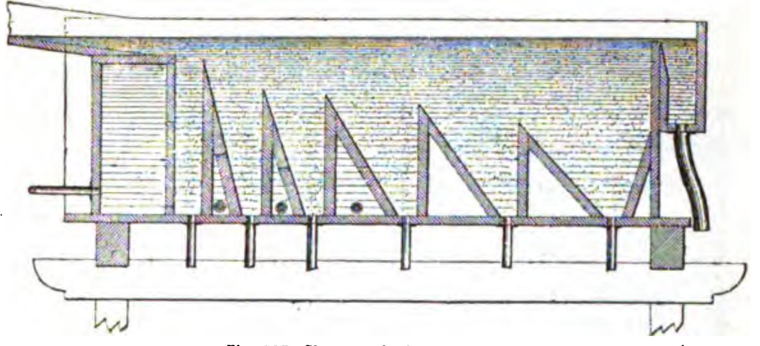


Fig. 797. Classeur de Steinenbrück.

nulle, suivant la fonction $l\ (\delta - 1)$. Ces corpuscules décrivent, par suite, des trajectoires plus ou moins tendues, dont des faisceaux distincts vont s'engouffrer successivement, dans chacun des compartiments formés par les prismes triangulaires qui garnissent le fond. Ils s'en échappent ensuite, avec une certaine quantité d'eau, à travers les conduits ménagés à cet effet.

On peut passer, en 10 heures, sur un semblable appareil, 20 tonnes de minerai métallique, avec une dépense de 1/3 de mètre cube par minute.

1342 — *Caisses pointues à courant ascendant.* — On a combiné une action mixte, analogue à la précédente, en associant, avec le principe du courant horizontal, celui du courant ascendant (n° 1332), qui procède également d'après la fonction $l\ (\delta - 1)$. On fait alors déboucher, au fond de chaque caisse pointue, une véritable source, qui ralentit la chute des grains les plus lourds, en aidant les plus légers à se relever, pour franchir le seuil suivant.

Cette combinaison présente une cause particulière de confusion,

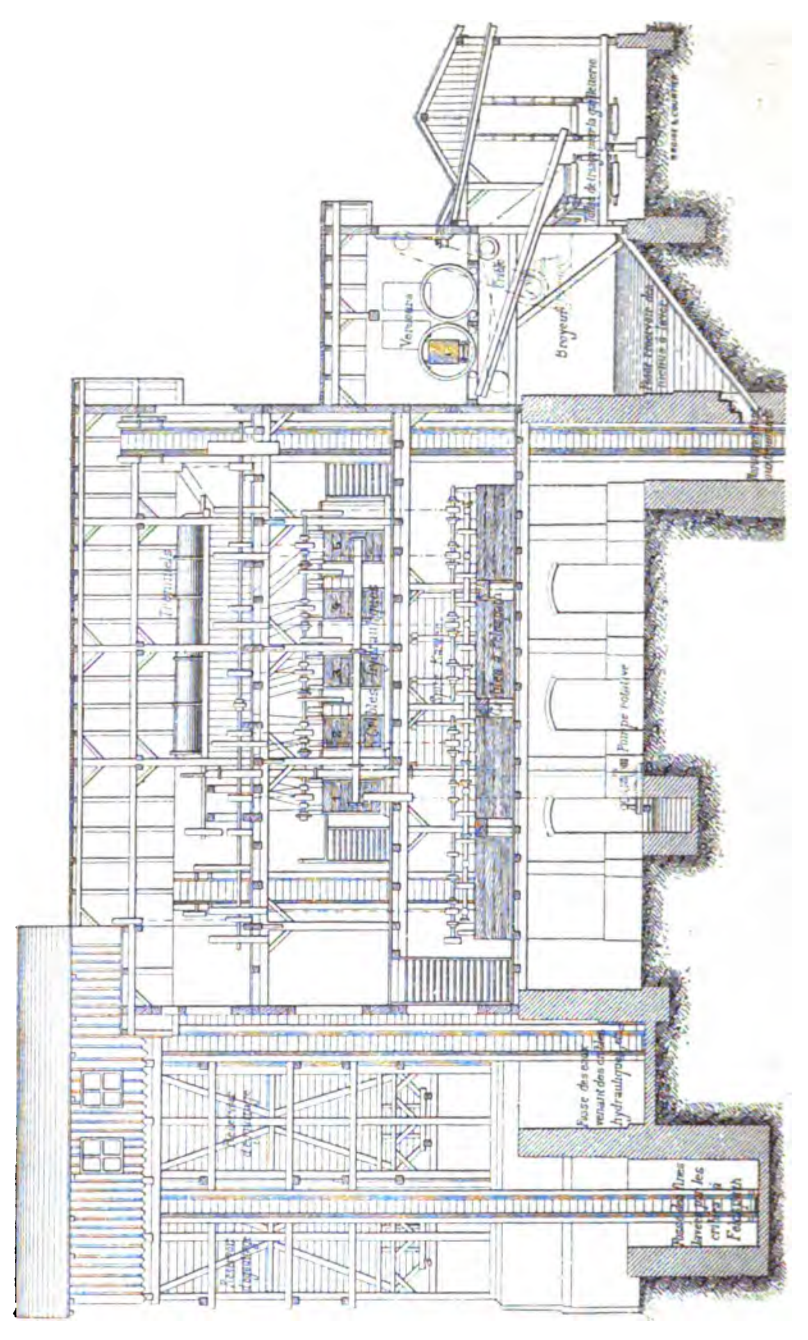


Fig. 798. Méthode Luhrig et Coppée. Atelier de Hermsdorf (coupe longitudinale).

due à la forme pyramidale des caisses, très inférieure, au point de vue de ce fonctionnement, à la nature prismatique de l'heberwäsche

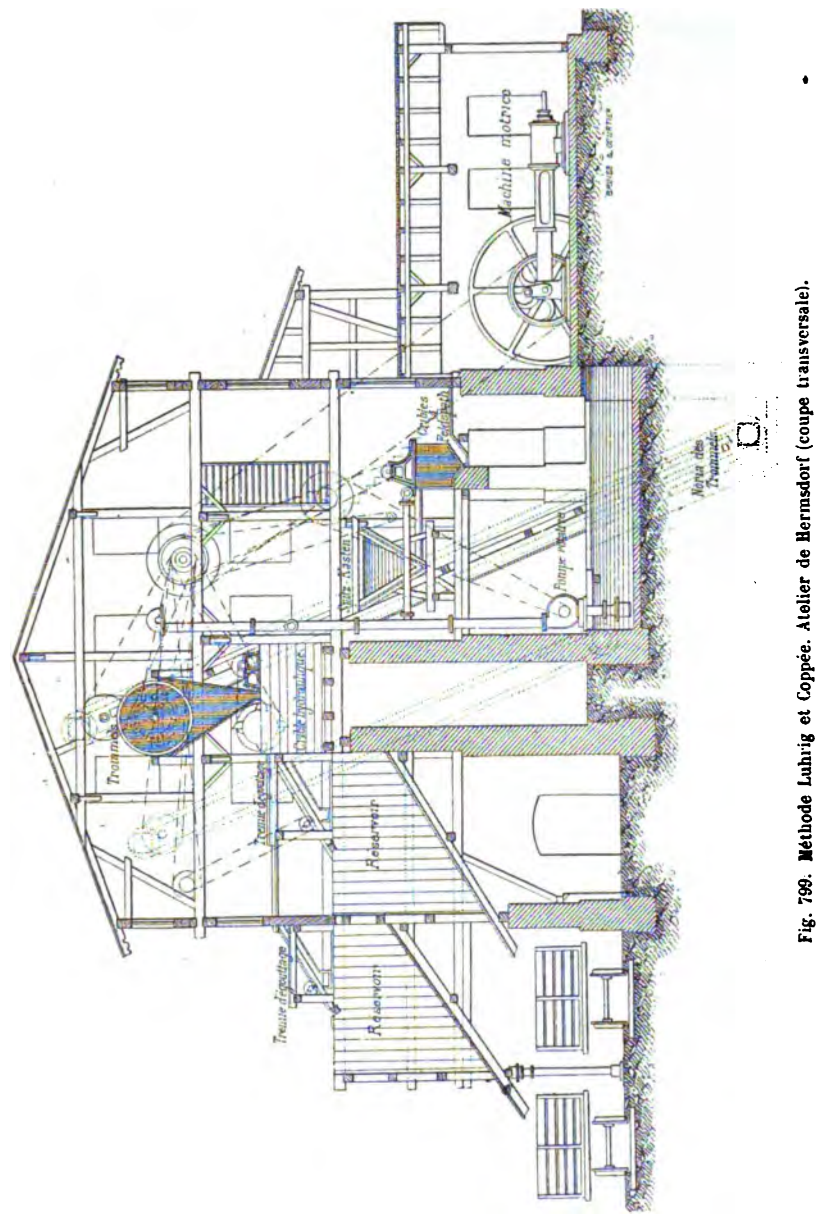


Fig. 799. Méthode Luhrig et Coppée. Atelier de Hermsdorf (coupe transversale).

(n° 1333). En effet, la section du courant augmentant d'une manière aussi marquée, la valeur de la vitesse, au lieu d'être déterminée et constante, va en décroissant. Il y aura donc une catégorie très étendue de grains, incapables de gagner le fond, en raison de la puissance de la source, et également hors d'état de parvenir jusqu'au seuil, faute d'une vitesse capable de les soutenir jusque-là. Il se formera ainsi un nuage flottant, et encombrant, très nuisible pour le triage de la portion des matières qui excède, dans un sens ou dans l'autre, les limites dont il vient d'être question. Aussi se voit-on obligé d'arrêter, de temps en temps, l'arrivée du minerai, et de donner une chasse, pour se débarrasser de cette partie flottante.

1343 — *Méthode Luhrig et Coppée.* — On trouvera encore un troisième exemple d'une association analogue de principes distincts, dans la méthode de lavage de MM. Luhrig et Coppée [1], qui a pris un grand développement pour le traitement des charbons fins, inférieurs, par exemple, à 10 millimètres. Elle repose (fig. 798, 799) sur la combinaison d'un classement de volume, aussi satisfaisant qu'il est possible, avec l'emploi des spitzkasten et des cribles à feldspath (n° 1330). Chacun de ces derniers traite, à part, le produit de l'une des caisses pointues. L'eau du lavage est ensuite clarifiée; et, après le dépôt des limons, elle repasse sur les appareils.

Le réglage du système est souvent laborieux, et il exige beaucoup de tâtonnements. Mais, quand on est arrivé à le mettre dans une relation convenable avec la nature du combustible, on obtient, pour les résultats, une précision remarquable. On voit souvent la moyenne de la teneur en cendres osciller avec des variations, qui sont réduites à 1/2 $^{0}/_{0}$. La course est très faible : 2 à 15 millimètres; mais le nombre de coups, qui est au moins de 100, peut s'élever jusqu'à 200 par minute.

[1] *CRM*, 1881, 31, Matrot ; 64, Georges Vuillemin ; 78, Bessard ; 199, Marle. — Burat *Criblage, lavage et épuration de la houille*, in-4°, 1881, p. 17. — Rathbone (*Transact. NEI*, XXIX, 159). — Kreischer. Über Veränderung und Verbesserung bei den Kohlenwäschen nach Luhrig's System (*Jahrbuch für das Berg- und Hüttenwesen im Königreiche Sachsen*, 1881).

L'importance du rôle des spitzkasten dans cette combinaison a été contestée [1]. On a remplacé ces organes, à Blanzy, par un simple trommel à trous ronds de 4 et 7 millimètres. Dans ces conditions, nous revenons alors à la solution simple du criblage à la cuve, succédant à un conditionnement par volume particulièrement soigné (n° 1306).

1344 — *Classeur à vent.* — De même que l'emploi de la considération du mouvement relatif a provoqué (sous le bénéfice des observations qui ont été présentées, à cet égard, au n° 1317) le passage du crible à eau stagnante au bac à piston; de même, elle peut nous permettre une transformation analogue, en ce qui concerne le mouvement horizontal. Au lieu de lancer dans ce sens, au sein d'un milieu stagnant, un grain qui possède, à la fois, la vitesse acquise horizontale, et la vitesse verticale progressivement due à l'action de la gravité, attribuons distinctement, au liquide et au minerai, chacune de ces deux composantes. Imaginons, à cet effet, une matière tombant en pluie verticale, dans un fluide qui forme un courant horizontal. Il est bien vrai que le moyen de réalisation industrielle présenterait de grandes difficultés, si l'on voulait continuer à se servir, pour cela, de l'eau. Mais l'obstacle disparaît, si l'on se rejette sur l'emploi d'un courant d'air, qui n'est jamais embarrassant. De là l'invention des *classeurs à vent* [2].

Leur principe est analogue à celui du *vannage*, que l'on applique aux céréales. Le vanneur leur imprime périodiquement un mouvement qui les lance verticalement. Le vent agit de manières très inégales sur la balle d'avoine et sur le grain, en raison de la disproportion des surfaces que les deux substances lui présentent, à égalité de masse. La première est entraînée par le courant d'air, et le dernier retombe dans le van.

M. Thoulet a donné [3], sur l'entraînement des grains par l'air, des résultats résumés dans le tableau suivant :

(1) *CRM*, 1885, 64, Marle.
(2) *CRM*, mars 1878, 68. — Hochstrate. Die Kohlen Aufbereitung auf der Steinkohlenzeche Rheinpreussen (*Zeitschrift BHS*, XXX, 279). — Planink. Die Kohlenseparation mit Windstrom (*Œsterreichische Zeitschrift f. B. u. H.*, 1880, 119).
(3) Thoulet, *Annales*, 8e, V, 529.

VITESSE — Mètres par seconde	POIDS — Milli-grammes	RAYON EN MILLIMÈTRES POUR LES DENSITÉS δ								
		$\delta = 1$	$\delta = 2$	$\delta = 3$	$\delta = 4$	$\delta = 5$	$\delta = 6$	$\delta = 7$	$\delta = 8$	$\delta = 9$
1,70	0,01	0,1336	0,1061	0,0927	0,0842	0,0781	0,0735	0,0698	0,0668	0,0642
2,05	0,02	0,1684	0,1337	0,1168	0,1061	0,0985	0,0927	0,0880	0,0842	0,0808
2,50	0,03	0,1928	0,1530	0,1337	0,1214	0,1127	0,1061	0,1008	0,0964	0,0927
3,00	0,04	0,2122	0,1684	0,1471	0,1336	0,1241	0,1168	0,1109	0,1061	0,1020
3,60	0,05	0,2286	0,1814	0,1585	0,1440	0,1336	0,1258	0,1195	0,1143	0,1099
4,30	0,06	0,2429	0,1928	0,1684	0,1530	0,1420	0,1337	0,1269	0,1214	0,1168
5,15	0,07	0,2557	0,2029	0,1773	0,1611	0,1495	0,1407	0,1336	0,1278	0,1229
6,10	0,08	0,2673	0,2122	0,1853	0,1684	0,1563	0,1471	0,1397	0,1337	0,1285
7,15	0,09	0,2780	0,2207	0,1928	0,1751	0,1626	0,1530	0,1453	0,1390	0,1336
8,50	0,10	0,2880	0,2285	0,1997	0,1814	0,1684	0,1585	0,1505	0,1440	0,1384

1345 — Cette donnée a été appliquée, à l'aide d'un mouvement continu, et non pas alternatif comme dans le vannage, pour des schlamms tellement fins, que le contact de l'eau les convertit en une pâte, sur laquelle les divers modes de lavage demeurent impuissants. On l'emploie de même pour des lamelles excessivement minces, telles qu'en donnent les tellurures d'or du Colorado, qui surnagent et sont entraînés par l'eau, au lieu de participer au criblage. On l'a également signalé pour des charbons que l'on voulait éviter de mouiller. Ce moyen a enfin été recommandé en vue des pays chauds, où l'eau manque, tandis que les poussières sont naturellement sèches et très mobiles. En dehors de ce cas, il sera ordinairement nécessaire de dessécher préalablement les matières, par l'application de chaleurs perdues, telles que celles des gaz des foyers, ou de la vapeur d'échappement.

1346 — Dès l'année 1825, M. Grand-Besançon a proposé l'application de ce procédé [1]. La Société de la Nouvelle-Montagne l'a réalisé vers 1852 [2].

M. Hochstrate l'a employé pour le traitement des combustibles, au charbonnage de Rheinpreussen [3]. La charge glisse sur un tamis, devant la bouche d'un ventilateur, dont l'action entraîne la houille plus loin que le schiste. Une chambre à poussières reçoit les matières les plus fines. Quant à celles qui se déposent, elles sont reçues sur une toile sans fin, animée d'une vitesse inverse de celle du vent.

Un classeur analogue a fonctionné autrefois à Engis, où il a été abandonné, en raison des frais occasionnés par la dessiccation [4].

M. Krom, de New-York [5], actionne, à l'aide d'un arbre à cames, un piston à charnière, analogue à un soufflet. Uu ressort le ramène brusquement, quand il est abandonné par la came, ce qui

[1] Grand-Besançon. Appareil ventilateur pour la séparation des minerais de leur gangue (*Annales*, 2e, IV, 297).
[2] Pernolet père (*Annales*, 5e, IV, 153).
[3] Basiaux et Léonard (*Rev. univ. d. m. et u.*, 2e, IX, 135).
[4] Boutan (*Traité d'exploitation de Callon*, III, 73).
[5] Habets. *Rapports* du jury international de l'exposition de 1878, groupe VI, classe 50, p. 247.

permet d'imprimer à l'air un mouvement saccadé de 500 pulsations par minute, de manière à pouvoir opérer sur des matières impalpables.

Un trieur à soufflet a fonctionné à Genolhac [1], pour traiter des terres ferrugineuses contenant 7 % de galène; et, dans le sud de l'Espagne, avec des scories de plomb d'une teneur de quelques centièmes. Pour régulariser l'action du vent, on le fait passer à travers trois toiles métalliques de 40, de 5 et de 1 dixièmes de millimètre. Ce traitement expose, à la vérité, les ouvriers à la respiration d'une atmosphère éminemment insalubre.

M. de Soulages [2] a introduit également, dans sa méthode de traitement (n° 1292), un *ventilo-séparateur*, fonctionnant par la force centrifuge, comme les appareils dont nous allons maintenant nous occuper. L'emploi des classeurs à vent s'indiquait, dans ce cas, d'une manière rationnelle, puisque les matières sont amenées à un état de grande division, et qu'elles sortent, encore chaudes. d'un torréfacteur.

§ 7

APPAREILS A FORCE CENTRIFUGE

1347 — *Lavoir Laporte et Jourjon.* — Il nous reste à envisager une dernière catégorie d'appareils, dans lesquels, aux influences précédentes, à savoir, la pesanteur et la résistance du milieu, vient s'en adjoindre une troisième, la force centrifuge [3], en raison de la ro-

(1) Delesse, *Comptes rendus de l'Académie des sciences*, XCI, 791.

(2) *CRM*, 1884, 46.

(3) Je rappellerai, afin que cette manière de parler, que j'emploie pour me conformer à l'usage, ne donne lieu à aucune confusion, que la force centrifuge, que l'on invoque quelquefois d'une manière un peu obscure, n'a pas, au fond, une existence réelle et physique, au même titre que la pesanteur, la gravitation, le magnétisme, la capillarité, etc. Cette expression ne constitue ici qu'une forme de langage, une fiction. destinée à permettre d'appliquer à une autre fiction, à savoir le *repos* relatif, qui n'existe que dans notre pensée, la méthode, due à Coriolis, que fournit d'une manière générale, dans les mouvements relatifs, la mécanique rationnelle pour l'étude, par cette voie indirecte de l'équilibre, de l'*état effectif de mouvement* curviligne qui est, au contraire, la réalité du phénomène. On peut dire également, sous une forme un peu différente, que la considération de l'équilibre des forces réelles, en leur adjoignant la

lation uniforme que l'on imprime à l'ensemble, autour d'un axe vertical. Cette dernière action constitue, comme la gravité, une force de masse, et non pas de surface, mais elle s'exerce horizontalement suivant les rayons, et non plus dans la direction du fil à plomb.

Le lavoir de MM. Laporte et Jourjon [1] est destiné au criblage du charbon (fig. 800). Une trémie distribue la matière à laver dans

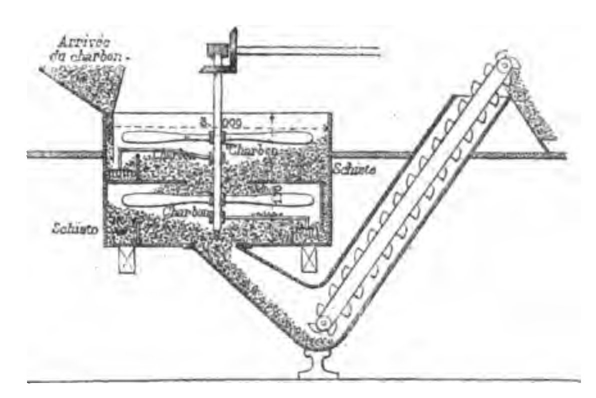


Fig. 800. Lavoir Laporte et Jourjon (coupe verticale).

une cuve pleine d'eau, qu'un arbre tournant, muni de palettes, entretient dans un état de giration. Les pierres se concentrent vers le bord, le charbon pur reste dans la région centrale. Des orifices sont ménagés autour de l'axe, pour descendre le combustible au pied de ce dernier. D'autres orifices sont pratiqués en certains points de la circonférence, et des raclettes y conduisent le schiste. Des trous intermédiaires reçoivent les *crus*, plus ou moins impurs, qui subissent un nouveau triage sur un second plateau. Le charbon et le schiste sont enfin extraits par des releveurs, enveloppés dans des gaines de même hauteur que le lavoir, pour permettre à l'eau d'y prendre son niveau. Avec des matières très fines, on se contente de 2 ou 3 révolutions par minute. On marche à raison de 7 ou 8 tours, pour des sortes plus grosses.

L'auteur annonce que son appareil donne un bon classement, peu

force centrifuge, n'est pas autre chose que l'application directe du principe de D'Alembert au mouvement de rotation uniforme, puisque cette dernière n'est autre chose que la force d'inertie de ce mouvement (n° 1290).

[1] *CRM*, 1881, 125.

de déchet, point de mourres, une faible dépense en eau, force motrice et main-d'œuvre. Des expériences prolongées, attentivement conduites par M. Chansselle aux houillères de Saint-Étienne, ont montré que ces trois derniers points étaient, en effet, réels. Mais la séparation n'est pas aussi nette que l'espérait l'inventeur. La force centrifuge, agissant à la manière de la pesanteur, classe par équivalence, de telle sorte qu'en l'absence d'un calibrage rigoureux (n° 1306), on doit s'attendre à trouver des pierres dans le charbon, et du charbon dans les pierres. Même en faisant intervenir le classement par volume, on se trouve très gêné par les mourres (n° 1298). Elles empâtent l'eau, et obligent à la renouveler plus fréquemment qu'il n'eût été désirable. Avec des charbons absolument débarrassés de poussières, le fonctionnement devient assez satisfaisant; mais en pareil cas, l'on n'a que l'embarras du choix pour trouver un bon lavoir. On s'était, en dernier lieu, borné, à Saint-Étienne, à ne traiter que des grenailles supérieures à 8 millimètres, et cet appareil a fini par être complètement abandonné. Il n'en méritait pas moins d'être signalé ici pour l'originalité de son principe, qui pourrait n'avoir pas dit son dernier mot.

1348 — *Lavoirs Bazin.* — M. Bazin a construit, pour le traitement des sables aurifères, des appareils fort bien étudiés, qui sont également fondés sur l'emploi de la force centrifuge au sein de l'eau.

La figure 801 représente, en premier lieu, un *débourbeur préparateur*, destiné à dégrossir la besogne, qui sera achevée par les appareils finisseurs. Ceux-ci sont au nombre de deux, avec ou sans mercure.

Le *laveur hydraulique centrifuge* (fig. 802) se compose d'une cuve immobile pleine d'eau, munie d'un robinet de vidange à la partie inférieure. Elle contient une coupe, en forme de calotte sphérique, susceptible de tourner autour d'un diamètre vertical. On y verse le sable à traiter. Quelques oscillations de l'appareil, à droite et à gauche, servent à le tasser dans l'eau. A ce moment, commence la rotation régulière et progressive. Les matières fines grimpent les premières sur les parois de la coupe, par le fait de la

force centrifuge, et se déversent dans la cuve. On accélère peu à peu,

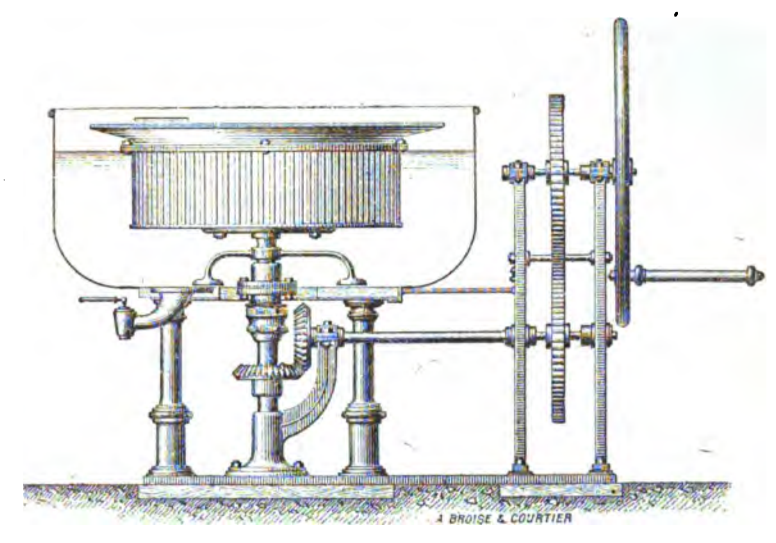


Fig. 801. Débourbeur préparateur Bazin.

pour chasser des matières plus lourdes, et l'on s'arrête, quand on juge dangereux d'insister, de peur de finir par expulser des sub-

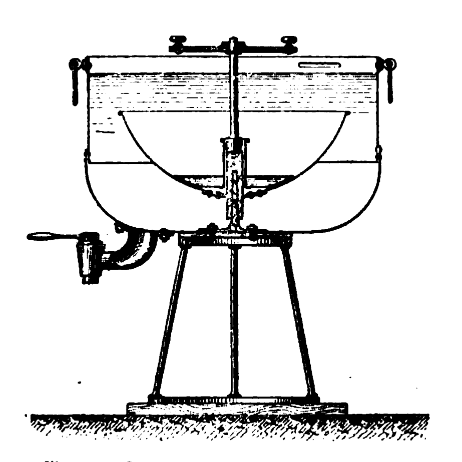


Fig. 802. Laveur hydraulique centrifuge Bazin.

stances utiles. L'or se trouve alors concentré dans une petite quantité de sable, au fond de la coupelle.

L'amalgamateur hydro-centrifuge (fig. 803) agit d'une manière tout à fait analogue, sauf qu'il est actionné par la force de la vapeur, et que l'on dépose, au fond de la coupe, un bain de mercure. La densité de l'or (19,000) [1], supérieure à celle (13,596) de ce liquide, l'y fait pénétrer, tandis que les matières pierreuses surnagent. Le

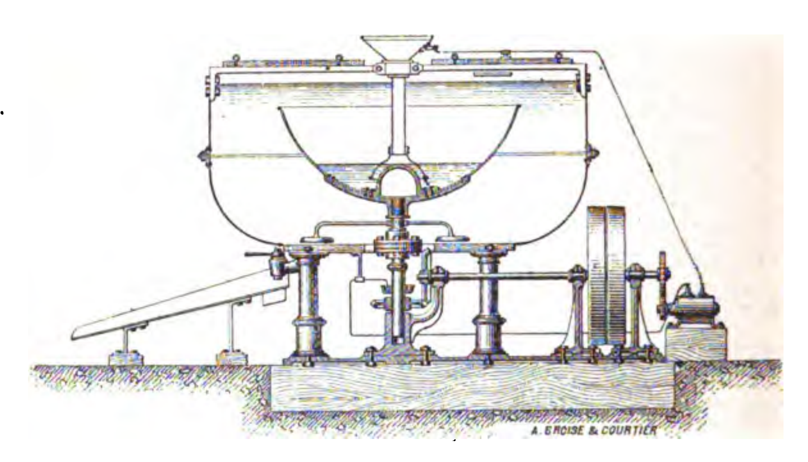


Fig. 803. Amalgamateur hydro-centrifuge Bazin.

bain mercuriel se creuse en forme de paraboloïde, et s'étale sur la paroi. Une bosse centrale, ménagée dans la coupelle, est destinée à écarter ce métal, des régions où l'influence de la force centrifuge reste insensible. L'amalgamation est encore surexcitée, par l'influence électrique d'une petite machine Siemens, actionnée par la rotation elle-même.

On peut passer, dans ces conditions, de 0,5 à 1,0 tonne par heure, à raison de 50 tours par minute, en retirant de 90 à 95 % de l'or contenu, au prix d'une très faible perte en mercure [2].

1349 — Pour préciser les conditions de ce mode de fonctionnement, représentons par M (fig. 804) le point du cercle où peut se tenir en équilibre un corps de densité δ. Son ***poids dans l'eau***

(1) 15,60 à 19,34 pour l'or natif (G. Rose); 19,26 à 19,36 pour le métal fondu ou laminé (Children).

(2) G. Moreau, Nouveau procédé de lavage des minerais (*Génie civil*, III, 590).

s'obtiendrait, en multipliant par $\frac{\delta-1}{\delta}$ le *poids absolu*. D'autre part, si r désigne le rayon de rotation, la force centrifuge s'évaluerait de même, en multipliant le poids par $\frac{\omega^2 r}{g}$. Or il faut, pour l'équilibre, que la résultante ME de ces deux forces MD et MC, soit dirigée normalement à la sphère, c'est-à-dire suivant le rayon MO. Le triangle MCE sera donc semblable à MBO, et le rapport des deux forces en question $\frac{CE}{CM}$, égal à $\frac{BO}{BM}$. On aura d'après cela, si R représente le rayon de la sphère, et h la hauteur de la position d'équilibre au-dessus du pôle inférieur :

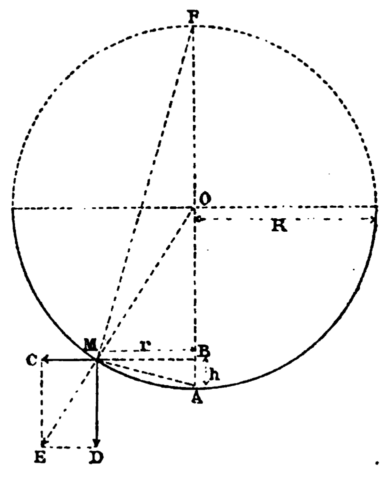


Fig. 804.

$$\frac{\frac{\omega^2 r}{g}}{\frac{\delta-1}{\delta}} = \frac{r}{R-h}.$$

Cette équation comporte, d'une part, la racine :

$$r = 0,$$

qui correspond au point le plus bas de la calotte sphérique. Elle fournit, d'autre part, la valeur :

$$h = R - \frac{g}{\omega^2}\cdot\frac{\delta-1}{\delta},$$

relative à la position qui, seule, nous intéresse au point de vue de l'opération.

Mais, pour que cette solution puisse exister, il faut évidemment

que h soit positif, et, par conséquent, la vitesse angulaire ω suffisamment grande. La condition $h > 0$ donne, à cet égard, la limite:

$$\omega > \sqrt{\frac{g}{R} \frac{\delta - 1}{\delta}}.$$

Si la vitesse s'abaisse successivement jusqu'à ce minimum, h s'annule, et la seconde position d'équilibre se confond peu à peu avec la première. Celle-ci reste seule, au-dessous de cette allure, mais ne correspond plus à un fonctionnement industriel.

1350 — Ces conditions purement statiques ne sauraient d'ailleurs suffire. Il faut encore que le grain d'or, en dépassant la position d'équilibre M, en raison de la force vive qu'il a acquise à partir de A, n'atteigne pas les bords de la coupe, de manière à être projeté en dehors, au milieu des stériles. Cherchons donc le point où il s'arrêtera de lui-même, dans ce mouvement ascendant.

Il nous faut, pour cela, annuler l'expression de la vitesse, c'est-à-dire celle de la force vive, ou, enfin, le travail total des forces, qui ont agi sur le mobile pendant le trajet. Ces actions sont au nombre de deux. D'ailleurs, le travail de l'effort vertical est négatif, tandis que celui de la force centrifuge est positif. Il suffit donc, en dernière analyse, d'égaler entre elles les valeurs absolues de ces deux travaux.

Celui de la première de ces deux forces sera proportionnel à $\left(\frac{\delta - 1}{\delta}\right) h'$, si h' désigne la hauteur du point d'arrêt M' au-dessus de A. La force centrifuge étant de même, à chaque instant, proportionnelle à $\frac{\omega^2 r}{g}$, son travail total le sera, de son côté, à :

$$\int_0^{r'} \frac{\omega^2 r}{g} dr,$$

c'est-à-dire à $\frac{\omega^2 r'^2}{2g}$.

Mais, du reste, on a, dans le triangle rectangle M'AF :

$$r'^2 = h'(2R - h').$$

Si donc nous égalons entre elles les deux valeurs ainsi trouvées :

$$\frac{\delta - 1}{\delta} h' = \frac{\omega^2 h'(2R - h')}{2g},$$

il viendra, en supprimant encore la racine h', $= 0$:

$$h' = 2R - \frac{2g}{\omega^2} \frac{\delta - 1}{\delta},$$

c'est-à-dire, en définitive, cette solution, remarquable par sa simplicité :

$$h' = 2h.$$

On voit ainsi que le mobile s'élèvera, en raison de son *lancé*, à une hauteur double de celle de la position dans laquelle il pourrait se maintenir en repos, si on l'y plaçait sans vitesse.

Or, la plus grande étendue que l'on puisse donner à la coupelle est celle d'un hémisphère. Il faut par conséquent, à cette limite, que l'on ait $h' < R$, ce qui donne :

$$\omega < \sqrt{2 \frac{g}{R} \frac{\delta - 1}{\delta}}.$$

La vitesse, qui, tout à l'heure, devait avoir une valeur suffisante, ne doit donc pas non plus devenir trop grande. On voit, en outre, que les deux limites qui la comprennent sont assez resserrées, car le rapport du maximum au minimum est égal à $\sqrt{2}$, ce qui représente environ 40 °/₀ en sus.

Cependant on rencontrera, dans la réalité, plus de facilités que ne semble l'indiquer ce chiffre. D'une part, tous les grains ne partent pas de A, pour prendre ainsi leur élan ; en second lieu, ils se gênent les uns les autres ; enfin nous avons, dans cet aperçu, négligé les ré-

sistances passives (frottement sur la paroi, et résistance du liquide) dont le travail est essentiellement négatif. Il s'adjoint donc à celui de la force verticale, ce qui revient à amplifier par la pensée, dans une certaine proportion, le facteur $\frac{\delta-1}{\delta}$, et, par suite, à augmenter, au delà de $\sqrt{2}$, le rapport du maximum au minimum.

Si, cependant, nous conservons l'expression précédente de la limite de vitesse Ω, capable de faire franchir les bords de la coupe, et que nous la mettions sous la forme :

$$\Omega = \sqrt{\frac{2g}{R}\left(1-\frac{1}{\delta}\right)},$$

on voit qu'elle croît avec δ. Il faudra donc, ainsi que nous l'avons déjà dit sans démonstration (n° 1348), une allure plus rapide pour expulser les matières denses, que pour les corps légers. Ce sont, par suite, les stériles qui sortiront les premiers, tandis que l'or restera dans la coupe.

En appelant δ_1 et δ_2 les densités de ces deux matières, le rapport des vitesses correspondantes Ω_1 et Ω_2 sera le suivant :

$$\frac{\Omega_1}{\Omega_2} = \sqrt{\frac{1-\frac{1}{\delta_1}}{1-\frac{1}{\delta_2}}}.$$

Si l'on admet, pour l'or, $\delta_1 = 19{,}00$ et, pour le quartz, $\delta = 2{,}65$ il viendra :

$$\frac{\Omega_1}{\Omega_2} = 1{,}233.$$

L'écart n'est donc pas même d'un quart en sus. On voit, par conséquent, à quel point le fonctionnement doit être attentivement surveillé avec cet intéressant enrichisseur, qui constitue, en quelque sorte, un appareil de précision.

CHAPITRE LIII

LAVAGE SUR LES TABLES

—

§ 1

THÉORIE DES TABLES FIXES

1351 — *Théorie.* — La tendance actuelle de la préparation mécanique consiste à faire intervenir le criblage à la cuve pour des matières de plus en plus fines, en abaissant notablement la limite de son emploi au-dessous du point où l'on s'arrêtait autrefois. Cependant il existe nécessairement un degré que l'on ne saurait dépasser. Au delà d'une certaine ténuité, le rapport de la surface au volume augmente à un tel point que les grains refusent de se déposer, si ce n'est en un temps démesurément long. De plus, la capillarité vient mêler son action au jeu de forces que nous avons analysé dans le chapitre précédent. Elle convertit les matières en une pâte, quelquefois même en une sorte de gelée, dont les éléments ne se laissent plus isoler par l'eau. Le liquide s'ouvre, au hasard, des passages au milieu de la masse, en la déchirant en lambeaux ; et ce mode d'action, devenu absolument irrégulier, n'a plus rien de commun avec l'opération délicate que nous avons étudiée avec tant de soin.

Il faut donc, pour ces limites de petitesses, avoir recours à quelque autre procédé. On a trouvé, à cet égard, une solution dans l'intervention du frottement exercé par une surface solide. Il est juste de dire que ces nouveaux appareils, destinés essentiellement

aux matières fines, peuvent empiéter, dans une certaine mesure, sur la limite extrême que comporte le criblage à la cuve, quand on veut tirer, de celui-ci, tout le parti possible.

1352 — Avec ce nouveau principe, les grains sont mis en suspension dans l'eau, au moyen d'un agitateur, et cette sorte de liquide mixte, qui porte le nom de *lavée*, s'écoule en lame mince sur une surface légèrement inclinée. L'eau y acquiert, en un temps très court, une vitesse constante V, telle que le frottement, qui dépend, pour les liquides, de la vitesse, arrive à compenser exactement l'influence de la pesanteur, fonction elle-même de l'inclinaison. Il est clair que l'action du courant ainsi déterminé sera insuffisante, pour ébranler des blocs trop importants par leur volume et leur densité. Ces corps trouveront, pour résister, un point d'appui dans leur adhérence sur la table, qui est proportionnelle à leur *poids dans l'eau*. Au contraire, il existera des matières assez fines pour être entraînées *au fil de l'eau*. Il existe donc, comme limite, une catégorie précise de grains, sur lesquels se font équilibre les deux [1] forces tangentielles qui les sollicitent, à savoir : l'impulsion du courant et le frottement sur la table. Ces corpuscules ne s'ébranleront pas d'eux-mêmes, mais ils obéiront à la plus légère influence, de nature à leur imprimer une vitesse, qu'ils conserveront alors d'une manière uniforme. Il importe de caractériser, d'une manière précise, cette sorte de matières.

1353 — En reprenant les hypothèses et les notations du n° 1304, nous représenterons par $al^3(\delta - 1)$ le poids dans l'eau du grain. Cette force peut être considérée, ainsi qu'il vient d'être dit, comme normale à la table, en raison du peu d'inclinaison de cette dernière. Le frottement que la surface oppose au glissement du mobile sera donc $fal^3(\delta - 1)$, si l'on désigne par f son coefficient doublement spécifique. Quant à l'action exercée par le courant, nous

(1) Il est inutile, en effet, de tenir compte, en troisième lieu, de la composante de la pesanteur tangentielle à la surface de glissement, en raison de la faible pente de cette dernière.

(2) Nous introduisons ici une constante c, distincte du coefficient b qui a figuré dans

la représenterons [2] par cl^2V^2. L'équation d'équilibre sera, dans ces conditions :

$$fal^3(\delta - 1) = cl^2V^2,$$

c'est-à-dire :

$$V^2 = f\frac{a}{c}\,l(\delta - 1).$$

Elle nous montre, dès lors, que les grains qui forment la catégorie d'équilibre, dans un courant de vitesse V, sont caractérisés par la même condition que dans le criblage à la cuve, à savoir que le produit du diamètre par la densité dans l'eau soit le même pour tous, et, d'un autre côté, proportionnel au carré de la vitesse.

En d'autres termes, les nouveaux appareils classeront encore par équivalence. Le fond de la question n'a donc pas changé, en ce qui concerne le principe de classification. La physionomie seule des appareils s'est modifiée du tout au tout, en vue de cette adaptation à des conditions nouvelles, relativement à la nature des matières traitées.

Si nous faisons abstraction de la différence qui sépare c de b, nous pourrons écrire simplement :

$$V^2 = fU^2,$$

en appelant U la vitesse du courant ascendant, capable de soutenir verticalement le grain (n° 1299, éq. 3). On en déduit :

$$V = U\sqrt{f}.$$

1354 — Dès que la table lisse a été recouverte d'une première

la théorie du criblage à la cuve. Au fond, le choix des lettres est fort indifférent. Mais j'ai voulu, par là, mieux souligner que les valeurs de ce facteur sont, en réalité, différentes dans ces deux questions, d'après les expériences de Du Buat. Cet expérimentateur a reconnu, en effet (n° 1036), que, toutes choses égales d'ailleurs, l'action exercée par un courant contre un obstacle fixe, n'est pas identique à la résistance que ce dernier corps éprouverait à se mouvoir de son côté, en fendant, avec la même vitesse, un milieu stagnant. Tant il est vrai, ainsi que nous avons déjà eu occasion d'y insister (n° 1317), que l'on ne doit pas user trop légèrement des considérations de mouvement relatif, en ce qui concerne l'action réciproque des solides et des liquides, lorsque l'on poursuit une certaine précision dans les résultats.

couche, les conditions changent, pour le grain qui doit maintenant se traîner sur cette surface accidentée. Pour faire, à cet égard, l'hypothèse la plus simple, envisageons des corpuscules exactement sphériques. Trois de ces sphères sont juxtaposées en O, O_1, O_2, (fig. 805). Une quatrième Ω s'est installée au-dessus d'elles. Il s'agit, dès lors, de connaître la vitesse du courant qui sera capable de la déloger de cette position, en lui faisant, pour cela, gravir la pente nécessaire. Il existe toute une série de ces dernières, depuis un maximum, si le corps monte, le long de l'une des sphères, dans le plan de tangence des deux autres ; jusqu'à un minimum, que l'on obtiendra en le faisant rouler dans le même plan, mais en sens contraire, sur les deux autres sphères à la fois, le long des petits cercles menés, par les points de contact, parallèlement à ce plan. C'est naturellement ce dernier mode que l'on doit regarder comme le plus probable pour l'entraînement. Cherchons donc l'inclinaison de cette rampe sur le plan horizontal.

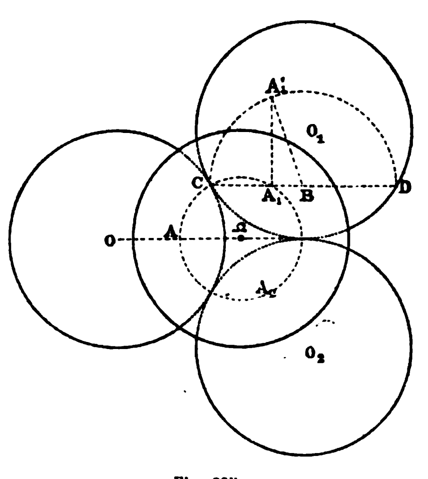


Fig. 805.

La ligne des centres de la sphère de gauche et de la sphère supérieure, projetée en OΩ, étant égale à la somme des rayons, c'est-à-dire double de leur rayon commun, le point de contact se trouve à la moitié de sa longueur, et se projette, par suite, au milieu A de OΩ. Les deux autres points de contact se projetteront, par conséquent, en A_1, A_2, à 120 degrés de distance, sur le cercle décrit, de Ω comme centre, par le point A. Si donc nous menons par A_1 le plan de front A_1B parallèle à OΩ, le cercle d'intersection se rabattra en CDA'_1, et le point de contact en A'_1. L'inclinaison de la tangente en ce point est égale à l'angle $A_1A'_1B$. Son sinus a pour valeur le quotient de A_1B par A'_1B ou BC. Or A_1 et C marquant des arcs

de 60° sur le demi-cercle AE, il est facile de voir que A_1B est le tiers de CB. Le sinus en question est donc égal à 1/3 (1).

Or c'est lui qui constitue, d'autre part, le coefficient de réduction de la force verticale, pour former la composante qui s'oppose à l'ascension du grain sur le plan incliné (en y négligeant la résistance au roulement). On peut, par suite, appliquer, avec cette modification, la théorie du courant ascendant; et comme la force qu'il imprime est proportionnelle au carré de la vitesse d'équilibre, nous aurons, en appelant encore U celle du courant ascendant, et V' celle de l'entraînement sur la table :

$$V'^2 = \frac{U^2}{3},$$

d'où (2) :

$$V' = \frac{U}{\sqrt{3}} = 0{,}57735\ U.$$

Pour que rien ne soit changé, de l'un à l'autre des deux modes de résistance que subit le grain, il suffit donc de supposer :

$$f = \frac{1}{3}.$$

Il est remarquable que ce soit précisément la valeur que nous avons déjà adoptée, avec M. de Rittinger (n° 1285), pour les conditions, assez vagues d'ailleurs, du frottement des minerais sur des surfaces métalliques.

Du Buat a exécuté un certain nombre d'expériences (3), pour déterminer la grosseur des grains pierreux, qu'un courant d'eau peut

(1) Ce qui correspond à un angle de 19°28'16", ou environ 20 degrés.

(2) On trouverait, pour le sinus de l'inclinaison maximum, $\frac{1}{\sqrt{3}}$, ce qui correspond à un angle de 35°15'52", ou environ 35 degrés; et, pour la vitesse correspondante :

$$V'' = \frac{U}{\sqrt[4]{3}} = 0{,}75983\ U.$$

(3) E. de Beaumont, *Leçons de géologie pratique*, II, 138.

entraîner dans un canal en bois. Il les a résumées par les indications suivantes :

Argile	0m,08	par seconde.
Sable fin	0m,16	—
Gravier (de la grosseur d'un pois) . .	0m,19	—
Gravier (de la grosseur d'une fève) . .	0m,32	—
Galets (d'un pouce de diamètre) . . .	0m,65	—
Galets (de la grosseur d'un œuf) . . .	1m,00	—

M. de Lapparent indique, de son côté (1), les résultats suivants, qui ont l'avantage de préciser beaucoup mieux les données (2) :

GRAINS	DIAMÈTRE — Mètres	VITESSE AU FOND — Mètres par seconde
Limon grossier	0.0004	0.15
Sable fin	0,0007	0,20
Sable de rivière	0,0017	0,30
Petit gravier	0,0092	0,70

1355 — *Râblage.* — Ces indications générales nécessitent encore une observation essentielle. Nous avons eu soin de faire remarquer, dans la théorie du criblage à la cuve (nº 1311), qu'il y a loin des considérations relatives à un grain unique, que l'on isole par la pensée, aux conditions complexes dans lesquelles il se trouve en réalité, engagé au milieu d'une foule d'autres corps semblables. Nous avons ajouté, à cet égard, que la difficulté disparaissait alors par la subdivision du mouvement général en un très grand nombre de petites saccades, de nature à renouveler indéfiniment les hasards de l'ébranlement initial, qui précède la vitesse de régime, pour que celle-ci puisse exercer son influence sur des grains véritablement indépendants.

(1) De Lapparent, *Traité de géologie*, 202.

(2) M. Thoulet indique, de son côté (*Annales*. 8e V, 525), certains chiffres, qu'il rapproche de ceux donnés par Hilgard (*American Journ. of Sci.*, III, 337) ; Dana (*Manual of Geology*, 3e édit., 654) ; Lyell (*Principes de géologie*, I, 459). — Voy. aussi M. Vauthier (*Génie civil*, V, 398).

Il en est de même dans le cas actuel. La longueur des tables étant, en général, très limitée, et les grains se gênant mutuellement, on ne peut, dans un aussi faible trajet, espérer une netteté suffisante pour le classement. On supplée à cet inconvénient en profitant, d'une part, de l'élimination partielle effectuée par le courant sur ce premier parcours, et remettant, en outre, tout en question, un grand nombre de fois de suite, pour le dépôt qui vient de se former. C'est ce que l'on réalise au moyen du *râblage*.

1356 — A cet effet, l'ouvrier, à l'aide d'un râble, refoule les matières à contre-pente, du pied vers la tête de l'appareil. Les grains recommencent dès lors un nouveau trajet. Les plus légers, qui auraient dû être entraînés, mais que des circonstances fortuites avaient arrêtés, sont remis en liberté, et l'influence du courant pourra, cette fois-ci, en débarrasser le dépôt. Si un nouveau hasard retient encore un certain nombre d'entre eux, un second râblage remettra tout en mouvement, et ainsi de suite. On peut donc admettre que cette manœuvre, suffisamment répétée, arrivera à dégager le dépôt des matières légères que l'on a pour but d'éliminer, et sans que l'on doive, pour cela, craindre de voir entraîner un seul des grains appelés par leur équivalence à se déposer; car le râblage ne fait que supprimer des obstacles étrangers, sans introduire aucune force accélératrice nouvelle.

Cette opération a d'ailleurs une triple influence. Outre qu'elle écarte, ainsi qu'il vient d'être dit, les causes fortuites de perturbation, elle augmente, pour ainsi dire, la longueur des tables, en la faisant parcourir plusieurs fois. C'est un résultat analogue à celui de la substitution du trommel au tamis (n° 1302). Enfin, le refoulement de l'eau soulève les grains, qui retombent immédiatement, en se classant comme dans le criblage à la cuve, et précisément en raison de la période initiale, pendant laquelle (n° 1314) l'influence de la densité prédomine sur celle de l'équivalence. Les matières légères restent donc à la surface, où elles sont plus facilement balayées par le courant.

On peut encore remplacer le râblage par d'autres moyens. L'ouvrier sollicite doucement les matières avec sa pelle pour les ébran-

ler légèrement. Des brosses mobiles viennent en effleurer les surfaces. Des pommes d'arrosoir y déversent une pluie qui entraîne les matières légères, en décapant la surface du dépôt le plus lourd.

Dans d'autres cas, on substitue, au râblage à la main, le râblage mécanique. Dans le *Lisburne-buddle*, qui sert à laver les galènes du pays de Galles [1], un râteau formé de 21 petits râbles, inclinés en travers sous un angle de 25 degrés par rapport à la ligne de plus grande pente, remonte les matières vers la tête de la table. Lorsqu'il redescend, un mécanisme intervient pour relever tous ces râbles.

§ 2

TABLES RECTILIGNES

1357 — *Table dormante.* — La *table dormante* a la forme d'un rectangle légèrement incliné [2]. A la tête, se trouve un *chevet* en forme de triangle, et d'une pente plus accusée. Il reçoit la lavée sur son sommet, et la répartit en nappe uniforme, par l'influence d'une série de brisants, constitués par des prismes triangulaires, et destinés à diviser consécutivement la lame d'eau, qui, sans cela, tendrait à couler directement par la ligne de plus grande pente. Au-dessus du chevet, se trouve l'auge de distribution, dans laquelle se meut un agitateur, qui remet les matières en suspension, d'une manière aussi homogène que possible.

Il est bien clair qu'une vitesse suffisante étant capable de tout entraîner, un courant moins fort ne laissera que les grains les plus gros et les plus lourds, et, qu'en diminuant progressivement l'allure, on augmentera peu à peu l'importance du dépôt. Il y aurait donc moyen, si l'on voulait, de détacher du premier coup, à la tête de la table, un dépôt très enrichi; mais ce serait au prix de pertes considérables. C'est de la manière inverse qu'il convient de procéder. On doit, par une allure modérée, chercher à éliminer

[1] Moissenet (*Annales*, 6e, IX, 63, 94).

[2] Les figures 812 et 813 donneront une idée suffisante de la table dormante, si l'on supprime, par la pensée, la suspension, en supposant fixe l'aire de lavage.

d'abord le stérile. On reprend alors le résidu, sur une seconde table, pour le classer de nouveau, dans des conditions appropriées à son nouvel état.

La lavée s'étale en lame très mince. Le travail du râblage est peu développé. Quand la table est suffisamment chargée d'une matière bien classée, on arrête l'écoulement, et l'on nettoie la surface, en enlevant, à la pelle, les zones successives. Sur les *frames* des ateliers anglais, on pousse l'opération jusqu'à un degré d'enrichissement plus uniforme, et on balaye finalement le tout, avec un fort courant d'eau, dans une auge placée au pied pour le recevoir. Le classement est alors moins net, et les déchets prennent plus d'importance. On a employé, à Holzappel, des tables dormantes percées de part en part, suivant des rainures transversales recouvertes d'un cuir. Celui-ci complète, en temps ordinaire, la surface de lavage. Quand l'opération est terminée, on soulève successivement chaque bande de cuir, et un courant d'eau pure chasse dans une auge inférieure, par l'ouverture ainsi laissée libre, tout le contenu de la travée correspondante.

1358 — *Caisson allemand.* — Cet appareil, que l'on appelle aussi *caisse à tombeau* (fig. 806), très employé autrefois, a aujourd'hui à peu près disparu, attendu que l'on n'en peut attendre que des résultats imparfaits. C'est plutôt un éboueur qu'un classificateur; un dégrossiseur, qu'un finisseur.

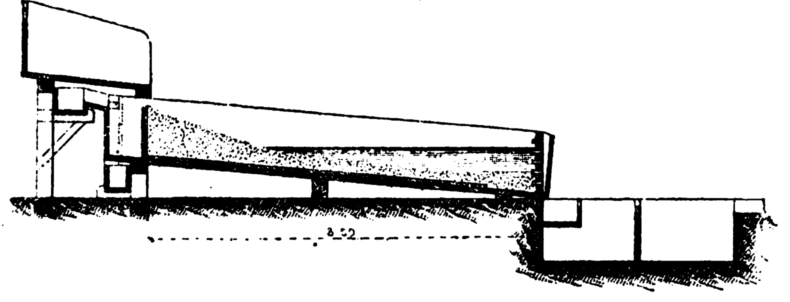


Fig. 806. Caisson allemand.

La pente, de 1/12 environ, est plus raide que celle des tables dormantes. La couche des matériaux devient bien plus épaisse.

Ceux-ci sont plus gros, et le râblage beaucoup plus actif. L'ouvrier remonte ainsi, non seulement le sable, mais l'eau elle-même, qui s'échappe, dès que le râble disparaît, et, dans cette sorte de *chasse*, agit d'une manière plus intense sur le dépôt, pour le débarrasser des matières boueuses ou schlammeuses.

La caisse, de 2 à 4 mètres de longueur, sur $0^m,50$ de largeur, et autant de profondeur, est fermée au pied par un revers percé de trous. Derrière celui-ci, se trouve un barrage, par-dessus lequel l'eau tombe en cascade dans une auge, avec les fines qu'elle entraîne. Ces caissons sont ordinairement associés, au nombre de trois, pour former une batterie gouvernée par un même ouvrier.

Ce dernier donne les matières à la tête du caisson, et y refoule incessamment le dépôt, jusqu'à ce qu'il le juge suffisamment purifié. Au fur et à mesure que s'élève l'épaisseur, on ferme les orifices correspondants, de manière à maintenir l'écoulement au niveau de la couche actuelle. Lorsque la caisse est entièrement pleine, on arrête la lavée. On débouche les trous inférieurs, pour laisser échapper l'eau, et l'on coupe le dépôt à la pelle en trois tranches, perpendiculairement à la longueur, en se guidant d'après l'aspect qu'il présente.

1359 — *Lavoir à eau courante.* — Il existe encore quelques exemples des anciens lavoirs à eau courante [1], destinés au traitement de combustibles de la grosseur d'une noix, ou d'une noisette. Dans ces auges, de $0^m,50$ à $1^m,00$ de largeur et de quelques dizaines de mètres de longueur, on distribue les matières au sommet de la pente, et un courant assez vif les entraîne, en les classant approximativement. Le charbon s'échappe à l'extrémité de ce couloir, et le schiste s'y accumule peu à peu. Au bout d'un certain temps, on arrête l'écoulement, et l'on enlève les matières à la pelle. La tête du dépôt est rejetée définitivement, et l'on sépare, au pied, un mélange à repasser.

A Tredegar (South-Wales) [2], on a disposé côte à côte trois auges,

[1] Il en a été établi à Decize, à Carmaux, etc.

[2] Harvey. On Coal-washing (*Proceedings of the Institution of civil Engineers*, LXX, 4e partie).

qui présentent l'énorme longueur de 80 mètres (fig. 807); une largeur de $0^{m},60$ à la surface, et $0^{m},50$ au plafond; $0^{m},35$ de profondeur; et une pente de 1/30. La main-d'œuvre ne dépasse pas 0 fr. 20 à 0 fr. 40 par tonne, mais l'appareil est embarrassant, les résultats incertains, et la gelée arrête tout travail.

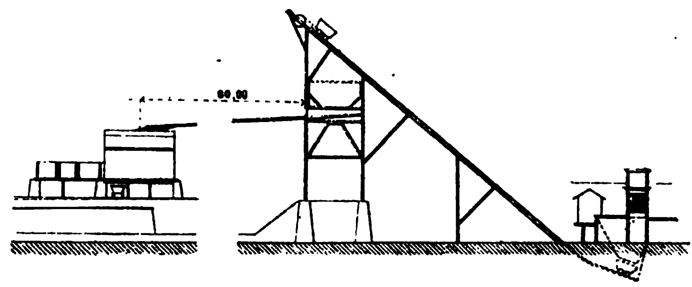


Fig. 807. Lavoir à eau courante de Tredegar.

Ce mode de fonctionnement a été précisé d'une manière intéressante à Commentry, pour le traitement des schlamms charbonneux. Imaginons que, dans un couloir d'une longueur suffisante, on donne la lavée pendant une durée, que nous supposerons de 5 minutes, pour fixer les idées. On l'arrête à ce moment, et on la soumet ensuite à l'action d'un courant d'eau pure. Les matières cheminent, sous cette influence, avec des vitesses différentes suivant la difficulté qu'elles éprouvent, en raison du frottement. Les schistes, et surtout les pyrites, restent nettement à l'arrière, les charbons s'en séparent et forment une zone intermédiaire, puis les mourres argileuses, obéissant plus facilement encore au courant, prennent l'avance sur le combustible proprement dit. Au moment où l'on juge, d'après l'aspect de ces divers segments, que la séparation est assez nette, on arrête le courant d'eau pure. Supposons qu'il ait duré 15 minutes. Après cette expérience d'essai (répétée, bien entendu, un nombre de fois suffisant pour fournir des moyennes précises), on opère couramment de la manière suivante.

On donne 5 minutes de lavée, on l'arrête, et l'on admet l'eau pure pendant 15 minutes, après quoi l'on suspend l'écoulement. Dans ces conditions, les mourres auront nettement quitté le charbon, et se seront précipitées dans le bassin de dépôt, que l'on a creusé en tête

de la travée occupée par le combustible dans les essais précédents. On relève celui-ci, sur l'étendue qu'il garnit. On reprend ensuite un quart de la longueur occupée par les schistes, afin de repasser cette portion dans l'opération suivante, et l'on rejette enfin les trois derniers quarts; après quoi, l'opération recommence indéfiniment.

1360 — *Labyrinthe.* — Un ensemble de préparation mécanique se termine, presque toujours, par une dernière rigole, dans laquelle s'engagent définitivement toutes les eaux, qui ont terminé leur rôle sur les divers appareils. On cherche ainsi à prélever un dernier dépôt, sur tout ce que ces eaux ont pu conserver encore de matières riches. Un classement fait dans de telles conditions, sera nécessairement très confus. On ne peut, dans tous les cas, le réaliser qu'en laissant au liquide, pour déposer ces troubles, un temps qui lui avait manqué jusque-là. Il faut donc que ce couloir présente une grande longueur. Mais comme son développement en ligne droite deviendrait dès lors gênant, par les distances qu'il obligerait à parcourir, on est dans l'habitude de le replier un grand nombre de fois sur lui-même, en ligne brisée, de manière à le faire tenir dans une superficie modérée. De là l'expression de *labyrinthe,* qui sert ordinairement à désigner ce dispositif.

Cet organe, quand il est établi avec les soins convenables, présente plusieurs parties distinctes. On commence par un, deux, ou trois canaux très courts à contre-pente, et de moins en moins inclinés. Ils sont destinés à retenir les matières les plus lourdes, en raison de la difficulté qu'elles éprouvent à gravir ces rampes. On y recueille des sortes grossièrement graduées, que l'on doit, du moins, dégager le plus possible des fines, en les débourbant légèrement à la pelle. Ensuite commence le labyrinthe proprement dit, à inclinaison descendante, qui se rapproche de plus en plus de l'horizontale, en même temps que la largeur augmente, afin de diminuer progressivement la vitesse, et de coordonner par là, le mieux possible, la nature des dépôts qui s'y accumuleront. L'ensemble se termine par deux grands bassins, de plusieurs centaines de mètres carrés, dans lesquels la vitesse devient inappréciable, ce qui permet aux derniers schlamms de s'arrêter, autant dans le but de clarifier

les eaux, avant de les rendre aux riverains placés en aval, que pour recueillir ce qui mérite encore de l'être. Ces bassins sont au nombre de deux, ainsi que nous avons déjà eu l'occasion de le dire (n° 1322), afin que l'on puisse procéder au curage, sans interrompre le service.

1361 — *Tables à toile.* — La *table à toile fixe*, ou *plannenheerd*, est une sorte de table dormante, sur la surface de laquelle on a plaqué une grosse toile adhérente, destinée à retenir, dans son tissu, les pépites susceptibles de s'y accrocher (1).

La *table de Brunton* consiste en une toile sans fin, sur laquelle s'écoule la lavée, à peu près dans les conditions précédentes, avec cette différence capitale, toutefois, que la toile elle-même remonte sa propre pente, sous l'empire de rouleaux tenseurs, animés d'un mouvement de rotation. On en peut ainsi régler la vitesse, de manière que le mouvement différentiel dont le grain se trouve animé, dure un temps suffisant pour assurer la netteté des résultats. C'est, en quelque sorte, l'équivalent d'une infinité de râblages infiniment petits. Ce principe est très ingénieux; cependant, sous cette première forme, l'appareil paraît abandonné.

On retrouve la même donnée dans la *table de Frue* (*Frue vanning machine*), qui est représentée par la figure 808 (2). Elle ne diffère du dispositif précédent, qu'en ce qu'on lui communique des secousses légères. Par là, elle rentre dans le principe dont nous étudierons, au paragraphe 4, l'influence spéciale. En outre, ces ébranlements aident à détacher, en dessous, les parcelles qui resteraient adhérentes à la toile, au lieu de tomber dans le bassin destiné à les recueillir.

Le *lavoir d'Uren*, employé pour les cuivres natifs du lac Supérieur (3), dérive encore du même principe, mais avec une modifi-

(1) Ce principe rappelle l'emploi des peaux de mouton que, de nos jours encore, on immerge dans les courants aurifères de l'Abasie, pour retenir au passage les pépites d'or. On retrouve ainsi, après trente-deux siècles, cette pratique grossière de préparation mécanique, qui a visiblement donné naissance à la légende de la Toison d'Or, à l'occasion de l'expédition effectuée par les Argonautes dans cette même contrée, vers 1330 avant J.-C.

(2) Ainsi que dans le concentrateur Embrey.

(3) *Rev. univ. d. m. et u.*, 1868, 412.

cation très importante. Le courant y est *transversal* à la toile sans fin, au lieu d'être longitudinal comme dans les appareils précédents. Le classement s'opère donc suivant des zones parallèles au mouve-

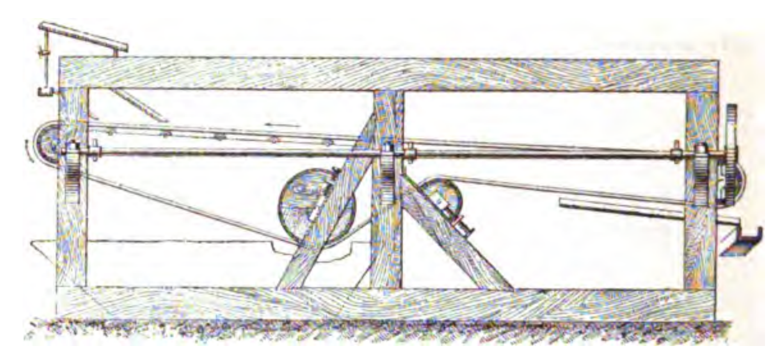


Fig. 808. Table à toile sans fin de Frue.

ment, lesquelles arrivent ainsi, d'elles-mêmes, à se déverser, d'une manière continue, dans des compartiments distincts préparés pour les recevoir.

On a substitué, pour ces deux derniers lavoirs, la gutta-percha, ou le caoutchouc, à la toile tissée. Pour éviter l'usure due au passage sur les rouleaux, on recouvre, d'une couche de caoutchouc liquide, le revers de cette bande, chaque fois qu'il se trouve affaibli par le frottement.

§ 3

TABLES CIRCULAIRES

1362 — *Round-buddle.* — Cet appareil, né en Angleterre, est fondé sur la substitution du tronc de cône à la forme plane, pour constituer l'aire de lavage. Il en existe deux variétés distinctes, suivant que la petite base est située au-dessus ou au-dessous de la grande. On obtient ainsi des round-buddles convexes ou concaves. C'est au premier de ces types que se rapportent les figures 809 et 810.

La lavée est amenée par un conduit, à une auge centrale qui la distribue circulairement sur un chevet conique, d'où elle s'étale

sur le tronc de cône, en se classant comme sur la table dormante,

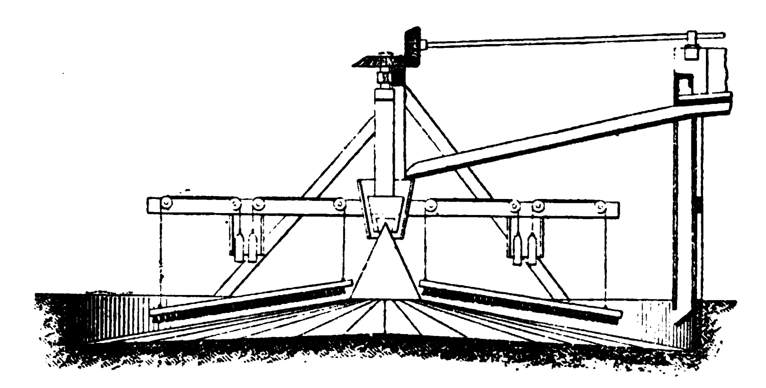


Fig. 809. Round-buddle (coupe verticale).

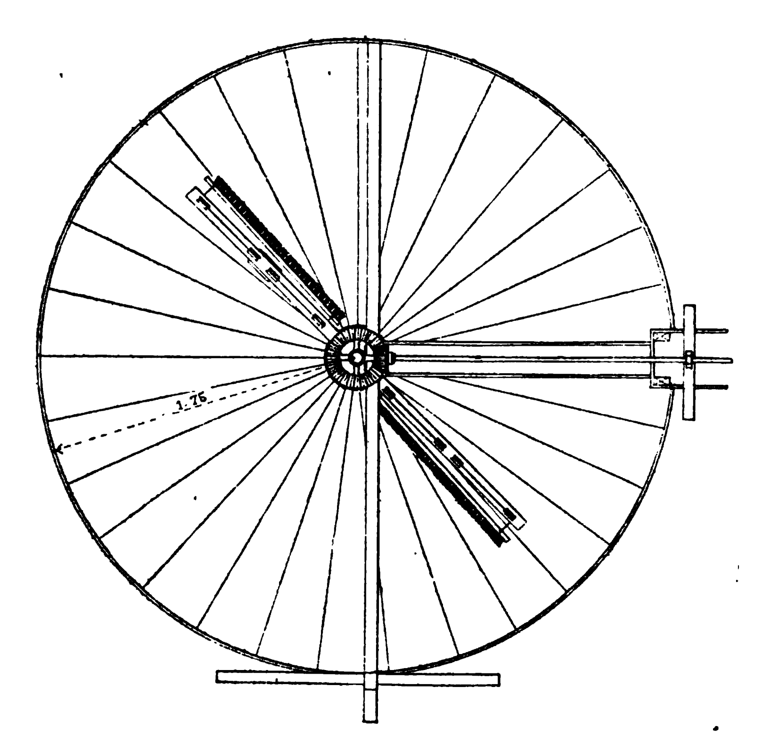


Fig. 810. Round-buddle (projection horizontale).

sauf les effets de la variation de vitesse, dont nous parlerons dans un instant. Un renvoi de roues d'angle met en rotation deux bras,

portant des brosses, ou des bandes d'étoffe, que l'on peut remonter à l'aide de manivelles, au fur et à mesure que le dépôt s'élève lui-même. Ces brosses sont destinées, d'une part, à effleurer légèrement la surface, afin de remettre les matières en suspension, en dégageant les fines enchevêtrées au milieu des grains plus importants; et, d'autre part, à égaliser incessamment cette superficie, pour éviter qu'elle soit ravinée par de véritables ruisseaux. On emploie également des pommes d'arrosoir, animées d'un mouvement de gyration, et destinées à décaper périodiquement le minerai métallique, en le débarrassant de la gangue légère qui tend à le recouvrir. L'eau et les troubles s'échappent par des trous pratiqués sur le pourtour du bassin.

1363 — Dans le round-buddle concave, qui est plus récent que l'autre, on répartit la lavée sur la circonférence supérieure, au moyen d'un tuyau qui tourne avec les balais. La boue s'échappe par le centre, à travers les trous d'un manchon en fonte, qui sert à maintenir les dépôts. Le mouvement va en s'accélérant, depuis le haut jusqu'au pied de la pente, en raison du rétrécissement progressif du périmètre, à l'inverse de ce qui a lieu pour le dispositif précédent, avec lequel on obtient, au contraire, un ralentissement. On aura, par suite, une meilleure épuration, mais au prix de pertes plus notables, car les grains riches les plus fins auront quelque peine à se soustraire aux effets de la vitesse finale.

La séparation, peu nette en principe dans les round-buddles, puisqu'elle ne procède que par équivalence, tend à s'obscurcir encore davantage, par cette circonstance que la pente du cône de dépôts va sans cesse en diminuant, ce qui fait varier la vitesse, du commencement à la fin de l'opération, en modifiant, comme conséquence, la nature des stratifications.

Le round-buddle concave exige au moins 150 litres d'eau par minute, ce qui représente le triple de la consommation de l'appareil convexe. On peut passer, en 10 heures, de 10 à 15 tonnes de sable [1]. Ces appareils ne sont que des dégrossisseurs.

[1] A la mine de Wheal-Owles (Cornwall), le captain Boyns a établi un round-buddle sur un diamètre gigantesque de 15 mètres.

1364 — *Tables tournantes.* — Les *tables tournantes* traitent des matières beaucoup plus fines que les round-buddles (¹). Elles peuvent encore être convexes ou concaves, recevant la lavée par le centre ou par la circonférence, et offrant, à peu près, les mêmes différences de fonctionnement que les buddles correspondants. La figure 811 représente la table convexe, qui est la plus employée des deux.

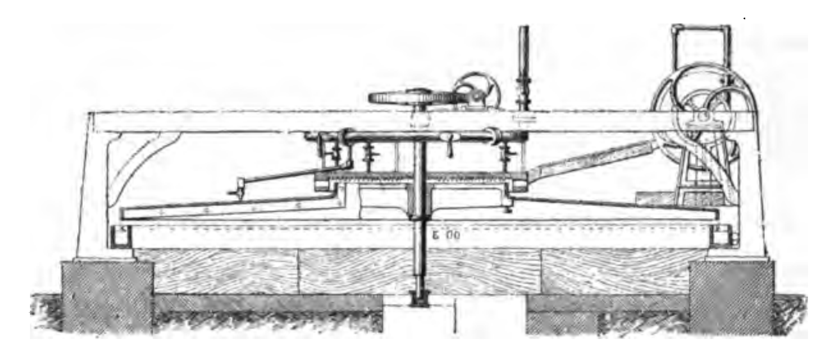


Fig. 811. Table tournante.

La lavée est donnée à la partie supérieure, sur une fraction de la circonférence. Elle descend jusqu'en bas en se classant, et la rotation lente de la table n'influence pas sensiblement ce mouvement suivant les génératrices. Cette circulation a seulement pour effet d'amener successivement toutes les portions de l'appareil à passer : 1° sous le livreur ; 2° sous une gouttière donnant, pendant la plus grande partie de la révolution, de l'eau pure pour laver les dépôts ; 3° devant un système de trois tuyères, qui dardent leurs jets multiples, de manière à balayer tout ce qui se trouve sur la table. La première n'attaque qu'une surface annulaire extérieure, d'une certaine largeur, et envoie, dans une auge, les matières que lui amène successivement cette zone, par sa rotation indéfinie. Un peu plus loin, une tuyère plus large nettoie un anneau intermédiaire, dont elle envoie les produits dans une seconde auge. Enfin la dernière, montant, de la circonférence inférieure, jusqu'au sommet, fait descendre, dans un troisième compartiment, la tête du dépôt, qui

(¹) Matrot (*Annales*, 6ᵉ, XII, 362).

avait été respectée par les deux précédentes. Immédiatement après, la surface ainsi dénudée repasse sous le distributeur, pour se charger d'une nouvelle quantité de lavée, qui sera, dans une autre révolution, classée et décomposée ainsi qu'il vient d'être dit.

Le diamètre de la table augmente avec la pauvreté et la complexité des matériaux que l'on y veut traiter, afin d'accorder plus de temps à leur classement. Cette dimension varie depuis $2^{m},50$ jusqu'au double. L'inclinaison dépend de la finesse des schlamms, et aussi de leur nature plus ou moins visqueuse. Elle est, en général, de 5 degrés. La rotation, très lente, ne dépasse pas un tour par minute. La quantité d'eau varie, suivant les circonstances, de 100 à 500 litres par minute. La production est encore plus inégale. On peut passer quelques tonnes sur les petites tables, et jusqu'à 15 ou 20 sur les plus grandes.

La séparation n'est pas beaucoup plus satisfaisante, en principe, que sur le round-buddle, et la table tournante n'est, comme ce dernier, qu'un dégrossisseur, lorsqu'on lui livre directement une matière brute. Mais si l'on repasse ensuite séparément, sur une seconde table, les catégories ainsi formées, elle prend le rôle de finisseur, car l'homogénéité du produit permet alors plus facilement de régler l'appareil avec précision, de manière à retirer la totalité du riche contenu.

§ 4

APPAREILS A SECOUSSES

1365 — *Table à secousses.* — Cet appareil (fig. 812, 813) est disposé à peu près comme la table dormante. Seulement l'aire de lavage proprement dite est distincte de son chevet; et, tandis que celui-ci reste fixe, la première est suspendue sur des chaînes, et peut s'éloigner de l'autre partie, par un mouvement de translation pendulaire. Un arbre à cames l'en écarte périodiquement [1]. Lorsque la came l'abandonne, le solide, ainsi déplacé de sa position

[1] Dans le concentrateur Imlay, l'on imprime, à l'aide d'excentriques, les pulsations au nombre de 200 par minute (*Revue industrielle*, novembre 1882, p. 479).

d'équilibre, s'en rapproche par l'action de la gravité, avec la lavée qui est en train de s'écouler à sa surface. Il vient choquer l'obstacle fixe, qui l'arrête brusquement, tandis qu'en raison du principe de l'inertie, les grains continuent leur mouvement par la force vive acquise, qui les fait remonter vers la tête de la table. Celle-ci, pendant ce temps, a rebondi en raison de son élasticité et de celle des heurtoirs, et ce mouvement inverse tend à augmenter encore

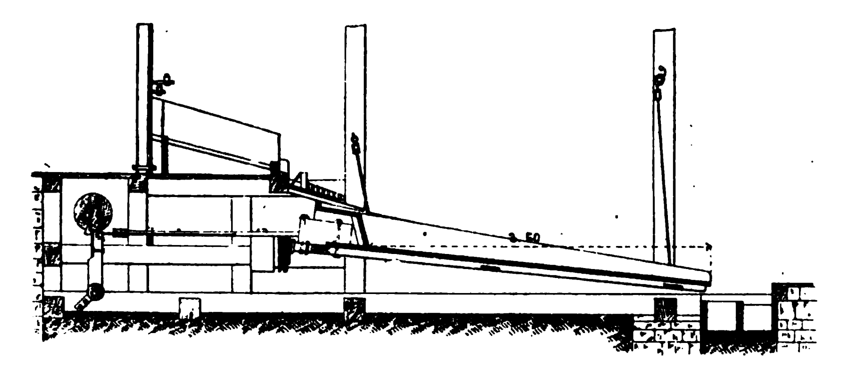


Fig. 812. Table à secousses (coupe verticale).

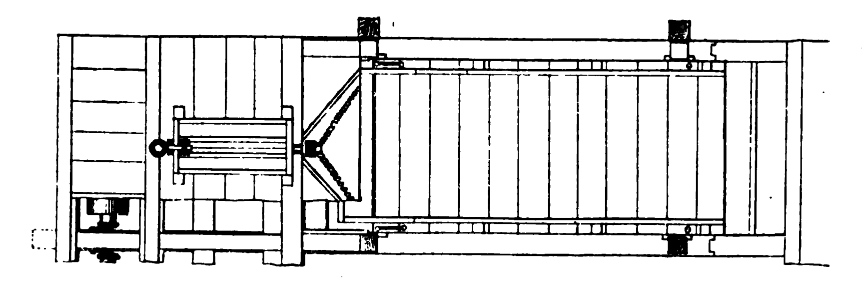


Fig. 813. Table à secousses (projection horizontale).

le déplacement relatif du minerai à sa surface. L'un et l'autre s'arrêtant encore, dans une position où ils ne sauraient se maintenir en équilibre, se remettent de nouveau en mouvement, et les mêmes circonstances se reproduisent, quoique sur une échelle réduite. On peut ainsi avoir théoriquement une suite de réflexions; mais, ordinairement, les secousses sont imprimées à la table avec une telle fréquence, que cette série d'effets n'a pas le temps de se développer, avant la rencontre d'une nouvelle came.

On voit par là que le grain éprouve un mouvement descendant sous l'action de la pesanteur, incessamment contrarié par une influence inverse, qui le remonte, par saccades, vers le sommet. Cette action forme l'équivalent d'une sorte de râblage, très court, mais indéfiniment répété, qui prolonge le séjour du grain au contact de la surface frottante. Sous ce rapport, nous rencontrons jusqu'ici une grande analogie avec l'opération qui a été analysée ci-dessus (n° 1356) pour les tables fixes, et surtout pour les tables à toile sans fin (n° 1361). Cependant il existe, entre les deux modes d'action, ne différence profonde que nous allons faire ressortir.

1366 — Analysons, en effet, le mouvement que prend le grain, au moment où il se trouve lancé le long de la table, par l'arrêt subit qu'éprouve cette dernière. Si v désigne sa vitesse variable, la force totale de ce mouvement rectiligne sera, avec les notations du n° 1304 : $\frac{al^3\delta}{g}\frac{dv}{dt}$, et nous devrons l'égaler à la somme algébrique des forces agissantes. Celles-ci sont toutes retardatrices. C'est, en effet, d'abord le frottement, dont nous avons déjà (n° 1354) formulé la valeur $-fal^3(\delta-1)$. C'est, en second lieu, la résistance du milieu liquide. Celui-ci ressent l'influence entraînante de la table d'une manière beaucoup moins directe que le grain; il subit, en même temps, en sens contraire, de la part de la pesanteur, une tendance permanente à l'écoulement. Cette eau peut donc être considérée comme à peu près stagnante, et la vitesse que possède le grain par rapport à elle, y diffère peu de la vitesse absolue v. Nous avons d'autant moins d'intérêt à préciser davantage, que nous allons voir, dans un instant, disparaître ce terme. La résistance s'exprimera donc (n° 1304) par $-bl^2v^2$, et l'on pourra poser l'équation différentielle :

$$\frac{al^3\delta}{g}\frac{dv}{dt} = -fal^3(\delta-1) - bl^2v^2,$$

que nous mettrons sous la forme suivante :

$$(1) \qquad \frac{dv}{dt} = -fg\frac{\delta-1}{\delta} - \frac{bg}{a\delta}\frac{v^2}{l}.$$

Or, bien que $\frac{dv}{dt}$ ait une valeur notable, il n'en est pas de même de v, et *a fortiori* de v^2. Le maximum de la vitesse du grain est, en effet, sa valeur initiale, qui est, en même temps, la vitesse finale du mouvement pendulaire; et celui-ci s'exerce sur une amplitude restreinte, le long d'un arc peu éloigné du point le plus bas du cercle. La projection verticale de cet arc, qui est proportionnelle à v^2, reste par conséquent très faible. Nous pourrons donc, avec une approximation bien permise ici, supprimer ce terme, et réduire ainsi l'équation :

$$(2) \qquad \frac{dv}{dt} = -fg\,\frac{\delta - 1}{\delta}.$$

Cette formule est toute semblable à celle (n° 1314) qui caractérise, par une approximation analogue, les premiers instants du criblage à la cuve. Elle conduit donc à la même conclusion, à savoir que la table à secousses classe directement par densité, et non plus par équivalence, comme les organes précédents.

Il est toutefois très essentiel de faire, à cet égard, une réserve relative au calibre de la sorte que l'on traite sur cet appareil. S'il s'agissait, en effet, de matières suffisamment fines, le terme négligé, qui renferme l en dénominateur, serait susceptible de grandir indéfiniment, et l'approximation précédente ne serait plus permise; nous en rencontrerons bientôt un exemple.

1367 — Le jeu de la table à secousses dépend de bien des éléments différents. On appelle *tension* de la table l'inclinaison des chaînes de suspension, qui dépend de la manière dont sont disposés les points d'attache. Cette tension influence le mouvement pendulaire, et, par suite, la vitesse initiale du grain. On l'augmente quand la grosseur de ce dernier diminue.

Le nombre de coups est une donnée des plus essentielles. Il varie de 25 à 100 par minute. On a également tendance à l'augmenter pour les matières les plus fines.

La dureté du choc dépend de l'élasticité que l'on donne aux par-

ties choquantes. Le coup est plus sec pour le fin, plus adouci pour le gros.

L'amplitude de l'écart influence également le mouvement pendulaire. Elle est, en général, de 0^{m},20 avec tendance à diminuer en même temps que la grosseur du grain.

L'inclinaison de la table varie dans le même sens, et se tient entre 1/20 et 1/25. On la fait varier en raccourcissant, à l'aide d'une vis, les chaînes du pied de la table.

La quantité d'eau diminue aussi avec le calibre des matières, ainsi que le chiffre de la production.

La table à secousses fait, comme le bocard, un vacarme qui tend de plus en plus à la faire bannir de toute laverie soignée. On peut, en outre, lui reprocher une certaine confusion, en ce que, si la classification effectuée par le mouvement remontant procède d'après la densité, il subsiste, dans la descente produite le long de la table par l'entraînement du courant, une tendance au classement par équivalence. Mais cette imperfection a été écartée, de la manière la plus heureuse [1], par M. de Rittinger, dans l'appareil suivant.

1368 — *Tables de Rittinger.* — Le principe de la table de Rittinger [2] consiste à séparer les deux effets précédents suivant deux sens rectangulaires, au lieu de les laisser se confondre dans la même direction. La lavée est donnée sur une petite largeur horizontale, voisine de l'un des angles supérieurs de la table (fig. 814, 815, 816) dont un courant d'eau balaye toute la largeur. L'inclinaison de la surface entretient, jusqu'à la partie inférieure, cet écou-

(1) On a imaginé une combinaison analogue, mais plus compliquée, et moins satisfaisante, dans le *setzheerd* (Matrot, *Annales*, 6e, XII, 365). La surface plane qui reçoit les secousses, pendant que les matières y voyagent, est une tôle perforée, soumise par-dessous au pistonnage, comme dans le criblage à la cuve.

Je mentionnerai de même le lavoir Artois (*CRM*, 1880, 183). Le classeur est immergé dans une cuve pleine d'eau, jusqu'au niveau de l'axe du heurtoir, contre lequel il éprouve, par minute, 320 à 350 secousses, d'une amplitude de 4 à 7 millimètres, suivant la grosseur des schlamms charbonneux, dont on traite environ 35 tonnes en dix heures. Le tamis qui forme le fond du lavoir est constitué par une tôle perforée de 3 millimètres, sur laquelle est rivée une seconde tôle de cuivre de 1/2 millimètre. On a annoncé que des poussières, à 25 % de cendres, avaient été ainsi ramenées à 5 ou 6 %, avec un rendement de 80 %, et en isolant des stériles à 75 % de cendres.

(2) *Rev. univ. d. m. et u.*, 1re, IV. — Henry (*Annales*, 6e, XIX, 364).

lement qui influence les matières (n° 1354) d'après le produit caractéristique $l(\delta - 1)$. Les secousses sont imprimées dans le sens transversal, et non plus, comme tout à l'heure, suivant la direction longitudinale. Dès lors, si l'abscisse du parcours du grain varie d'après l'équivalence, l'ordonnée procède plutôt d'après la densité.

Or la loi de variation de l'abscisse n'a d'effet que sur l'époque, plus ou moins prochaine, à laquelle le corps parviendra au pied de la table; et une fois que les grains sont réunis dans l'auge, il n'y reste aucune trace de ces inégalités dans la durée de leurs séjours respectifs sur l'appareil. Au contraire, la plus ou moins grande rapidité de croissance de l'ordonnée, pendant le trajet qui s'accomplit depuis le chevet jusqu'au pied de la table, a pour résultat que le grain, parti d'un coin de cette dernière, parviendra jusqu'au côté opposé, ou qu'il restera, au contraire, dans les environs du côté aboutissant à ce point de départ, ou encore qu'il atteindra telle ou telle zone intermédiaire. Si donc on dispose, à la partie inférieure, plusieurs auges séparées, pour recevoir les matières qui y parviennent par des trajectoires plus ou moins tendues, on recueillera, dans ces récipients, des dépôts de natures distinctes [1]. La séparation s'accuse de bonne heure, par des traînées paraboliques d'aspects caractéristiques. On les dirige vers les diverses auges, à l'aide de raclettes mobiles, qui permettent de choisir, avec précision, les limites de chacune des catégories, que l'on veut isoler dans ces divers compartiments.

On observe que les matières les plus riches sortent à l'extrémité du côté inférieur, qui est opposé, en diagonale, au point d'entrée. Ce fait peut s'expliquer de la manière suivante. L'équation (1) du mouvement horizontal montre que l'accélération est essentiellement négative, car on a, bien entendu, $\delta > 1$. Nous mettrons donc son signe en évidence sous la forme :

$$\frac{\frac{dv}{dt}}{g} = -\left[f + \left(\frac{bv^2}{al} - f\right)\frac{1}{\delta}\right].$$

[1] On remarquera l'analogie de cette ingénieuse combinaison avec celle qui est employée dans le lavoir d'Uren (n° 1361).

On voit ainsi que la *valeur absolue* décroît lorsque δ augmente, pourvu que l'on ait :

$$\frac{bv^2}{al} - f > 0,$$

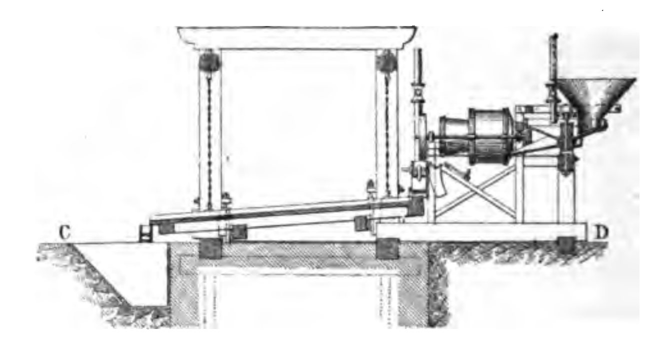


Fig. 814. Table de Rittinger (coupe longitudinale).

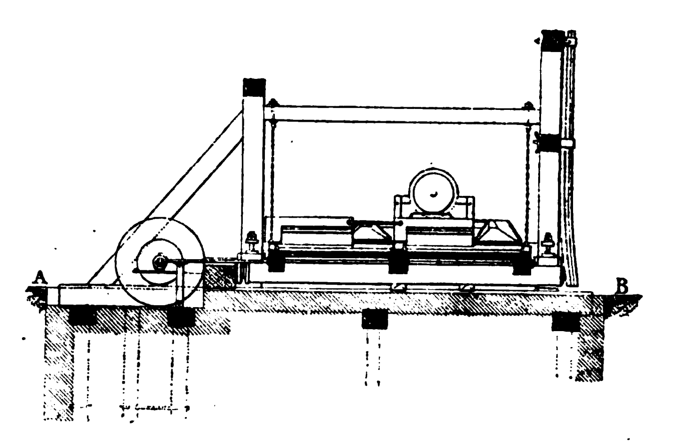


Fig. 815. Table de Rittinger (coupe transversale).

Ce seront donc les grains les plus denses qui seront le moins ralentis et qui, par suite, prendront l'avance, si l'on a :

$$l < \frac{bv^2}{af},$$

c'est-à-dire pour des sortes suffisamment fines, qui sont précisément celles que l'on traite sur les tables de Rittinger.

Remarquons, en outre, que l'influence descendante du courant d'eau s'exerce plus énergiquement, à égalité de grosseur, sur les matières légères, ce qui tend à courber encore davantage leurs trajectoires, et à les rapprocher de la ligne de plus grande pente. Cette action est surtout marquée le long du côté opposé à celui de l'entrée, en raison de l'accumulation d'eau, que les secousses tendent à y produire. Il en résulte un courant plus rapide, dans cette

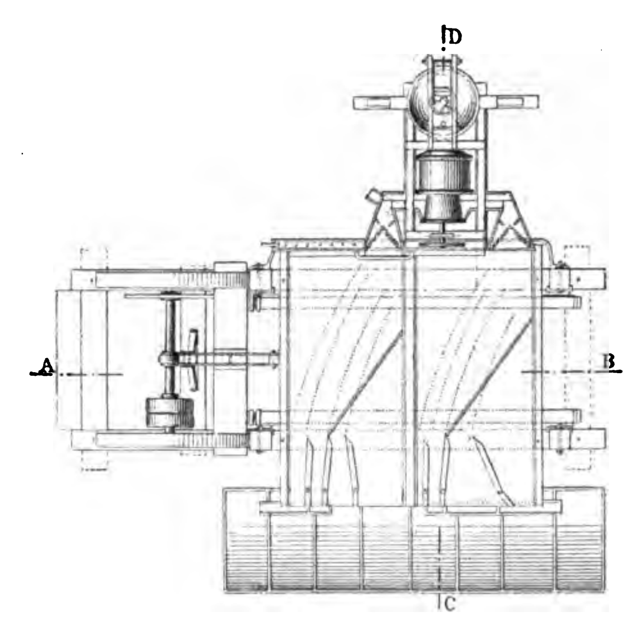


Fig. 816. Table de Rittinger (projection horizontale).

région, et de plus en plus accusé vers le bas, ce qui fournit un complément de lavage utile à la purification finale.

1369 — Tel est le principe, extrêmement ingénieux, de ce remarquable appareil. Autant la table ordinaire à secousses tend chaque jour à disparaître, autant celles de Rittinger sont en voie de développement. C'est un excellent finisseur, qui peut être considéré comme un véritable instrument de précision. On y traite des schlamms très fins [1], à l'aide d'un grand nombre de secousses :

[1] Cependant, au delà d'un certain degré de ténuité, l'influence n'est plus aussi

jusqu'à 200 et 300 par minute, quand il est nécessaire, et sur une amplitude qui n'excède pas 1 centimètre. Le mouvement pendulaire dû à la pesanteur serait trop lent pour ramener la table avec une telle fréquence. On lui substitue l'effet de ressorts, formés de caoutchouc, d'acier, ou de simples lames de bois superposées.

On a fait beaucoup d'essais, relativement à la matière dont il convient de constituer ces organes. Le bois se gauchit, la tôle ou la fonte rabotée s'oxydent, le verre se fend par la dilatation due aux différences de température; la pierre d'un grain fin, sciée et poncée, le marbre poli, sont du meilleur usage.

On a soin de disposer, en travers de l'écoulement, une ou plusieurs lames obliques, afin de déterminer, dans la surface de l'eau, une ride destinée à faire chavirer les petites lamelles de matières très clivables, que leur finesse rend capables de flotter, sans toucher la table, et, par suite, sans participer au traitement.

Les fondations sont très soignées, et les butoirs s'y trouvent encastrés, pour être dans l'impossibilité de s'écarter. Les tables ont $2^m,50$ à $3^m,00$ de long, sur $1^m,50$ à $1^m,70$ de large, et 3 à 6 degrés d'inclinaison. La consommation d'eau est de 10 à 20 litres par minute, suivant la finesse des schlamms. La production varie depuis 3 tonnes jusqu'au double.

§ 5

CLASSEMENT MAGNÉTIQUE

1370 — Le principe du classement fondé sur l'attraction par les aimants reste naturellement très limité (1). Il convient principale-

nette. Les forces de capillarité entrent alors en jeu, et les tables se graissent, par la viscosité du produit. On est alors obligé de s'en tenir à l'emploi des tables tournantes, avec des tuyères d'un jet assez puissant pour décaper nettement les surfaces.

(1) Cette action élective tranche, par sa nature absolument spéciale, sur le caractère de généralité des procédés précédents, dont nous l'avons séparée, pour ce motif, en l'exposant en dernier lieu. Sous ce rapport, et uniquement au point de vue de la coordination des idées, on peut rapprocher cet emploi d'une influence particulière, de celui de l'amalgamation pour aider à la préparation mécanique des minerais d'or (nos 1335 et 1348) On peut même, dans cette voie, y rattacher encore, par la pensée, l'affinité dissolvante

ment au fer oxydulé [1], et, accessoirement, à certaines pyrites magnétiques de fer ou de nickel. Parfois le grillage, avec coup de feu, communique cette propriété au résidu de certaines espèces minérales, qui ne la possèdent pas par elles-mêmes. C'est ainsi que l'on grille la blende à Przibram [2], et dans certaines mines allemandes de zinc et de carbonate de fer. On agit de même pour les minerais d'étain imprégnés de mispickel, dans le Cornwall et à la Villeder (Morbihan), pour soumettre ensuite, aux trieuses magnétiques, les produits de cette opération. On a également employé ces appareils dans de grands ateliers de constructions mécaniques, tels que ceux de Cail, pour recueillir la limaille de fer.

La trieuse Vavin [3] comprend deux cylindres tournants, étagés l'un au-dessus de l'autre (fig. 817, 818). Leur surface est formée d'anneaux alternatifs de fer doux et de cuivre. Les premiers sont en contact avec des barreaux aimantés, disposés suivant les rayons. Les anneaux de cuivre ou de fer du second cylindre correspondent inversement à ceux du premier. De cette manière, les sables versés par la trémie supérieure ne peuvent manquer de rencontrer une surface magnétique. Les parties attirables adhèrent au fer, en glissant sur le cuivre; les autres tombent dans un récipient inférieur. Des brosses fixes nettoient les surfaces remontantes, chargées de particules ferreuses.

de l'eau pour le sel, qui est mise en jeu dans la méthode du Salzkammergut (tome I, p. 423), ou dans celle du sondage (tome I, p. 138), pour réaliser le débourbage et la séparation, au chantier même, du produit utile et de l'argile à rejeter, en évitant le transport de cette dernière. C'est encore, au fond, de la préparation mécanique, singulièrement détournée, à la vérité, du caractère ordinaire de ses opérations, mais pas plus, cependant, que la méthode d'exploitation, et les procédés d'évacuation au dehors ne le sont, dans le même cas, des moyens ordinaires d'abatage, de roulage et d'extraction.

(1) Sables ferrugineux de l'île de la Réunion (Debette, *Annales*). — Séparation du fer et de la blende à Friedrichssegen près Oberlahnstein (*Bulletin de l'Association scientifique de France*, septembre 1884, 407).

(2) Henry, *Annales*, 7e, II, 293. — E. Clark, Trieuse magnétique de Przibram (*Bulletin du Musée de l'industrie de Belgique*, décembre 1881).

(3) Trieur magnéto-mécanique Vavin (*Bull. Soc. d'enc.*, 3e, III). — Habets, *Rapports* du jury international de l'exposition de 1878, groupe VI, classe 50, p. 251. — Trieuses magnétiques Vavin, Siemens, Edison (*Mining Journal*, 15 octobre 1881). — Vavin's magnetischer Separations Apparat (*Œsterreichische Zeitschrift f. B. u. H.*, 1879, 154). — Erzseparator (*Œsterreichische Zeitschrift*, 1882, 73). — *Bulletin de l'Association scientifique de France*, 1er octobre 1882, p. 412.

La trieuse de Przibram présente un dispositif un peu différent. 500 petits aimants, en fer à cheval de $0^m,08$ de longueur, ont leurs extrémités noyées dans une enveloppe cylindrique en bois, et font saillie à l'intérieur. On y verse le mélange de blende grillée et de minerai de fer, en grains calibrés d'un millimètre. De légères secousses contribuent à détacher la blende qui pourrait adhérer aux aimants, et n'y laissent que la partie magnétique. La vitesse est de 5 révolutions seulement par minute.

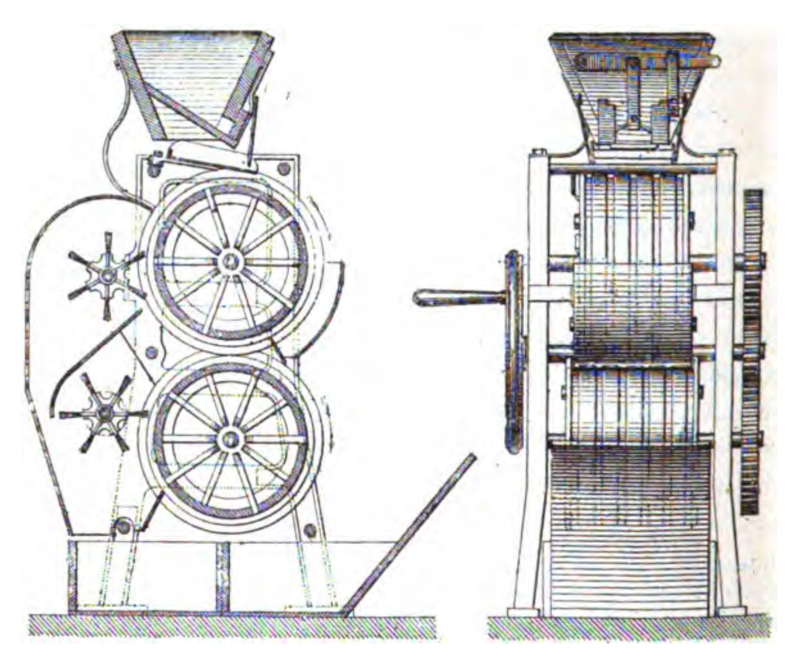


Fig. 817, 818. Trieuse magnétique Vavin (coupe et élévation).

Dans la trieuse de Sella, employée pour les minerais de cuivre et de fer de Traverselles, une courroie sans fin de transport amène les matières à passer, en couche mince, très près du point le plus bas d'une roue verticale, formée d'électro-aimants. Des commutateurs permettent de recevoir le courant dans les bobines de la partie inférieure, et de les désaimanter, dès que la rotation les écarte de cette région. Elles s'y chargent donc de parcelles magnétiques, pour les abandonner plus loin.

CHAPITRE LIV

ORGANISATION D'UN ATELIER

—

§ 1

GÉNÉRALITÉS

1371 — Nous avons, dans les trois derniers chapitres, étudié en eux-mêmes les nombreux appareils, à l'aide desquels s'effectuent, suivant les circonstances, les opérations de la préparation mécanique. Je me suis attaché, avec un soin particulier, à les grouper d'après les analogies que présentent les principes de leur fonctionnement. Mais cet ordre, que je crois le plus clair pour l'exposition, ne donnerait pas, par lui-même, une idée exacte des groupements réels d'opérations, qui constituent les traitements effectifs. Tout au contraire, nous avons vu (n° 1278) que l'on a intérêt, en thèse générale, à faire succéder les uns aux autres des organes fondés sur des principes nettement différents, afin de ne pas éterniser les indécisions, que chacun d'eux présente inévitablement pour certaines sortes intermédiaires.

Ces enchaînements comportent quelques principes généraux, par lesquels nous commencerons cette esquisse de l'organisation d'un atelier de préparation mécanique. Mais le dernier mot ne peut être obtenu, dans chaque cas, que lorsque l'on possède la notion complète de toutes les circonstances qui définissent le minerai à traiter, les moyens dont on dispose, et le but à atteindre. Pour ce motif, nous compléterons ensuite ces généralités, par la description dé-

taillée d'un certain nombre d'exemples, qui formeront les trois derniers paragraphes de ce chapitre, consacrés respectivement aux combustibles, aux matières pierreuses, et aux minerais métalliques.

1372 — Les formules de traitement se sont singulièrement modifiées depuis un demi-siècle, et surtout dans ces derniers temps. Les ateliers que l'on établit aujourd'hui tranchent nettement sur les anciens errements. Indiquons, tout d'abord, les tendances qui ont dominé dans cette transformation.

C'est d'abord la concentration. Au lieu d'une foule de petits ateliers, disposés autour de chaque puits, dans chaque localité susceptible de fournir de l'eau, on réunit en masses importantes, sur des points attentivement choisis, à la fois les minerais et l'eau nécessaire à leur traitement.

En ce qui concerne cette dernière, j'ai déjà donné une idée, à une autre occasion [1], des immenses aménagements hydrauliques, qui ont été créés dans certains districts métallifères.

Pour les minerais eux-mêmes, les tractions mécaniques, souterraines ou superficielles, ont apporté de grandes facilités. Les beaux triages des charbonnages de Mariemont et de Bascoup peuvent être cités, sous ce rapport, au point de vue des combustibles [2]. L'atelier de Bremerhohe, au Hartz, le plus grand du monde pour les préparations de minerais métalliques [3], passe 165,000 tonnes par an. Celui de Lintorf (Prusse rhénane), qui peut livrer par jour 280 tonnes de minerai lavé, travaille en hiver, malgré la gelée, avec de l'eau chauffée par l'échappement des machines à vapeur [4].

1373 — Je citerai, en second lieu, la tendance à l'emploi des moyens de transport automatiques, afin de restreindre de plus en plus celui des brouettes, des brancards, et surtout le pelletage à un niveau supérieur.

[1] Tome I, p. 773.
[2] Voy. n° 1383.
[3] Atelier de préparation mécanique de Clausthal (*Engineering*, 1876, 35, 65, 102, 167, 210, 303, 356).
[4] *Engineering*, 30 septembre 1881, 329.

Quand il ne s'agit que de descendre, on emploie, pour entraîner les matières, des courants d'eau rapides, ménagés dans des caniveaux inclinés, en maçonnerie ou en planches.

Pour le transport horizontal, on se sert de cordages en chanvre, de chaînes sans fin de Gall à tôles articulées, de vis sans fin en tôle qui tournent dans des auges longitudinales, etc. ([1]).

Pour remonter les matériaux à l'étage supérieur (fig. 819), on a recours aux monte-charges (n° 876) pour les mouvements intermittents ([2]), ou, pour les opérations continues, à des norias à claires-voies, comme dans l'élévateur Cornet, et à des roues à godets (n° 874).

1374 — On doit mentionner également une propension à l'automatisation des appareils, en diminuant progressivement la part laissée au travail de l'homme pour leur fonctionnement. On a beaucoup discuté sur cette question, et les avis sont encore partagés, dans une certaine mesure. Certains ingénieurs croient à l'influence du *tour de main* des ouvriers expérimentés, c'est-à-dire d'une habileté personnelle, de nature à introduire, dans les opérations, des nuances que l'on ne peut pas attendre d'une machine. On en vient cependant, en général, à penser que les grands perfectionnements introduits dans l'établissement des appareils, diminuent beaucoup la valeur de cet argument, et procurent, en revanche, une égalité, que ne comporte pas, au même degré, l'intervention directe de l'homme. Il y faut joindre encore la considération de l'économie de la main-d'œuvre, qui prend tous les jours plus de prépondérance ([3]).

1375 — La tôle s'est substituée au bois, dans une large mesure, pour la construction des appareils. Ce dernier est sujet à se déjeter,

([1]) Tome I, p. 656.

([2]) On en est arrivé à ne reculer devant rien, sous ce rapport. On rencontre, dans les breakers de Pennsylvanie (n° 1387), des charpentes de 40 mètres de hauteur, au sommet desquelles une balance hydraulique élève les wagonnets, pour que l'anthracite puisse, à partir de ce niveau, parcourir, par son propre poids, toute la série des appareils (*Engineering*, 1884, 164, 311. — *Scientific American Supplement*, 24 mai 1884).

([3]) On arrive, par exemple, avec les trommels de Bességes, à faire cribler par un enfant, ou un vieil ouvrier, 400 tonnes de houille en 10 heures.

à se fendre, à pourrir. Le métal permet des assemblages plus soi-

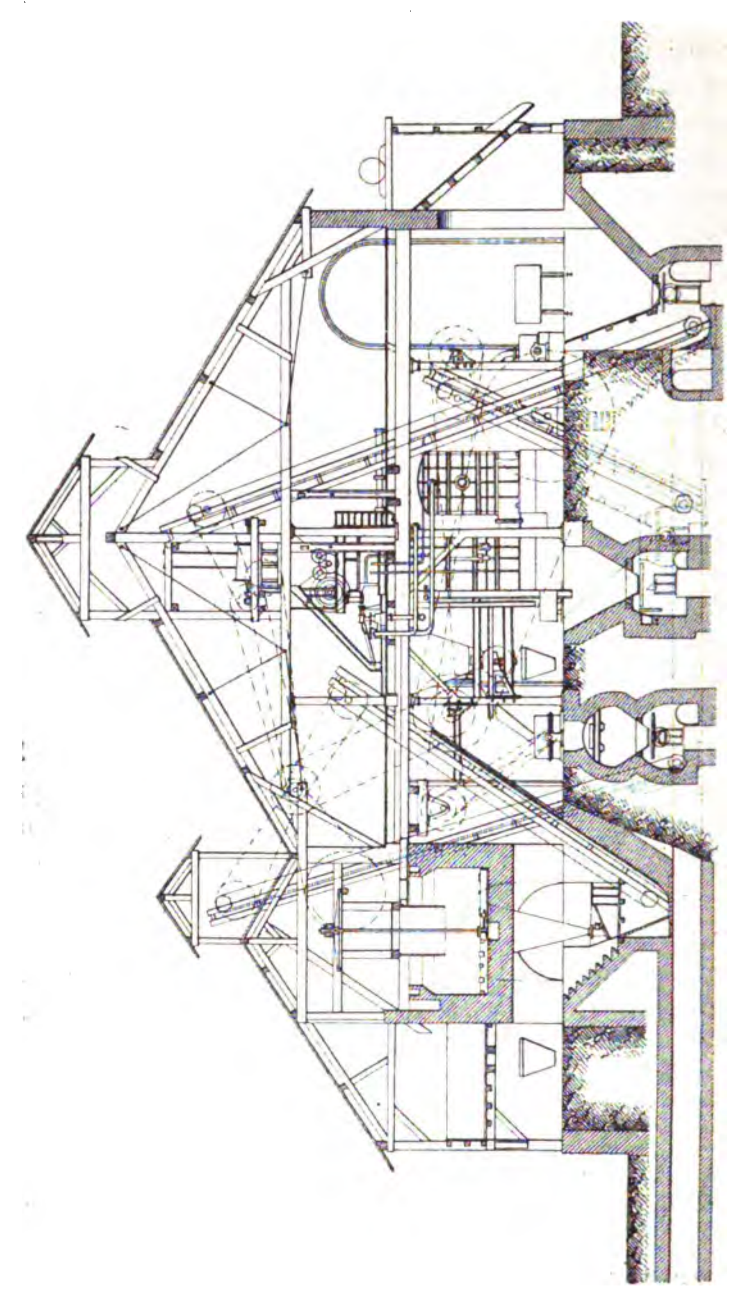


Fig. 810. Atelier de Roche-la-Molière (avec lavoir à vapeur Maximilien Évrard).

gnés, des détails plus délicats. A la vérité, les réparations sont plus complexes, mais cette difficulté s'aplanit par la concentration même, qui, en donnant aux ateliers plus d'importance, permet d'y comprendre les ouvriers et les engins nécessaires pour ces opérations.

1376 — Par-dessus tout, nous devons signaler la tendance à la simplification des programmes. Rien n'était autrefois plus complexe, et plus obscur, que l'ensemble de la préparation mécanique d'un minerai de filon; et cette complication n'était pas, en général, suffisamment justifiée par les nécessités de la question.

La multiplicité des diverses sortes avait, entre autres inconvénients, celui de retenir plus longtemps les matières dans l'atelier, en laissant dans l'inactivité un capital d'une certaine valeur, ce qui chargeait inutilement les frais généraux.

La simplicité du minerai doit, au moins, quand elle se présente, motiver celle du traitement. Cette simplification s'impose particulièrement pour la houille, qui, en raison des énormes masses sur lesquelles on opère, et de la faible marge laissée, en général, au bénéfice par les conditions commerciales, ne permet pas les repassages, et exige des procédés simples et directs.

Quant aux minerais métalliques, une certaine complication reste, ordinairement, dans la nature des choses, et il n'est pas au pouvoir de l'ingénieur de la faire entièrement disparaître. Déjà il a été beaucoup fait dans cette voie. On emploie aujourd'hui des types d'appareils moins nombreux, mais capables de résultats plus décisifs. On attaque avec des *dégrossisseurs*, on perfectionne avec des *finisseurs*, sans perdre autant de temps, d'emplacement et de main-d'œuvre qu'autrefois, avec des engins d'une efficacité insuffisante.

Burat écrivait, dans une de ses dernières publications (1) : « Si « l'on examine les nouveaux ateliers allemands, on reconnaît que le « matériel y est composé d'appareils connus, et tombés depuis « longtemps dans le domaine public ; et l'on voit qu'il n'y a qu'un « seul élément qui puisse expliquer les excellents résultats obte- « nus : la *méthode*. C'est, en effet, la succession précise et métho-

(1) *Épuration de la houille*, in-4°. Paris, 1881, p. 17.

« dique des procédés de classification et de lavage qui a déterminé « le succès. »

1377 — On a, sous ce rapport, opposé l'un à l'autre le *type allemand* et le *type anglais*. Le premier domine à peu près exclusivement, non seulement en Allemagne, mais dans tout le continent [1]. Il se distingue par le fini des détails et la coordination complète de l'ensemble, dans un enchaînement précis. C'est une vaste horloge, dont les rouages se correspondent d'une manière attentivement étudiée, tant pour l'alimentation respective des appareils les uns par les autres, dans l'ordre le plus favorable au traitement, que pour les transports automatiques. En compensation des avantages évidents de cette manière de procéder, il convient de faire remarquer que la diminution de la main-d'œuvre aura pour contre-partie l'usure et les frais de premier établissement d'un grand matériel. En outre, si le minerai vient à éprouver des variations progressives, comme cela est arrivé dans tant de gîtes, l'atelier, réglé en vue de l'ancien état de choses, se trouve en discordance avec les nouveaux résultats à atteindre. Les constructions, les dénivellations ont besoin d'être remaniées. Enfin il suffit, dans l'usage journalier, du dérangement d'un seul organe essentiel, pour paralyser à peu près tout l'ensemble.

Avec la méthode anglaise, les caractères sont inverses. On va droit au but, par des moyens simples, mais imparfaits; perdant beaucoup, mais traitant un grand tonnage à l'aide d'un matériel restreint. On supprime presque toujours le classement de grosseur, dont la perfection est pourtant nécessaire pour assurer celle du lavage. Les appareils discontinus dominent complètement sur le mode continu. Ils se réduisent à peu près au jig pour les grenailles, au round-buddle pour les fines, à la cuve pour terminer les schlamms. En un mot, en Allemagne, on cherche à traiter bien; en Angleterre, on veut traiter beaucoup, et la quantité remplace la qualité pour réaliser des bénéfices. Cette méthode, née pour des minerais simples, auxquels elle s'adaptait assez convenablement, a été étendue tant bien que mal aux matières complexes.

[1] Sauf à Pontgibaud (Puy-de-Dôme), à Breinigerberg (Prusse rhénane), etc.

1378 — Il est, du reste, un point fort essentiel à noter, c'est que les progrès de l'installation matérielle de l'atelier de préparation doivent être corrélatifs de ceux de l'exploitation. Ces organisations comportent une grande mise de fonds, et si l'on se lançait trop vite, les frais généraux pèseraient lourdement sur une production insuffisante.

Lorsque l'exploitation en est à ses débuts, quelques appareils mus à bras suffiront à la quantité produite. On aura soin, pour parer aux défauts de leur fonctionnement, de conserver, autant que possible, les haldes de matières rejetées, qui pourront, dans la suite, être reprises à l'aide de traitements plus perfectionnés. Par exemple, pour les premiers pas dans l'attaque d'un filon, il suffira d'un broyeur simple, de quelques jigs pour les grenailles, d'un caisson allemand pour les sables, avec une table dormante pour les schlamms (1).

Quand il faudra faire face aux progrès de l'abatage, on ajoutera successivement des appareils plus perfectionnés, par exemple, en ce qui concerne le broyage, un concasseur américain, deux ou trois trains de cylindres, quelques flèches de bocards pour les matières dures; pour le lavage, des bacs à piston et des cribles du Harz comme finisseurs, des round-buddles ou des tables tournantes pour les matières les plus fines, et, pour les terminer, des tables de Rittinger. Un labyrinthe restreint et bien établi complétera ce programme.

1379 — Les grandes exploitations permettront enfin les installations définitives dont nous avons parlé. Pour en constituer la méthode de traitement, bien des éléments devront intervenir. Plus le produit sera pur, plus sa valeur augmentera, et plus son débouché pourra s'étendre par cela même. L'un est fonction de l'autre, et l'élasticité possible de ce dernier pourra conduire, dans certains cas, à insister sur la préparation, afin d'arriver à un conditionnement plus parfait.

Inversement, la question des pertes sera de nature à restreindre le développement des opérations. En ce qui concerne, par exemple,

(1) Huet et Geyler, *Préparation des minerais*, p. 74.

les minerais argentifères, la galène s'use pendant l'élaboration à laquelle on la soumet, et le métal précieux présente une grande facilité à se perdre dans les matières rejetées. On se limite donc d'autant plus que le minerai plombeux est plus argentifère, et on ne lave presque plus les minerais d'argent proprement dits.

Le prix de la main-d'œuvre dans la localité pèsera d'une manière importante, pour faire incliner, d'une manière plus ou moins marquée, vers le travail à la main ou le travail mécanique.

L'abondance de l'eau est décisive en ce qui regarde l'emploi de tels ou tels appareils, suivant la consommation de liquide qu'ils exigent.

La quantité de minerai à traiter est aussi d'un intérêt capital. Elle dépend évidemment de la nature de la substance, de l'abondance et des facilités du gisement; mais elle résulte aussi de l'activité que l'on veut imprimer à l'extraction et au mouvement commercial. Un certain chiffre minimum de production est nécessaire, pour supporter l'effet des frais généraux, et constituer l'affaire en bénéfice. Un excès risquerait, avec certaines substances peu répandues, d'avilir les prix. Dans tous les cas, il nécessiterait une augmentation de capital, et pourrait se heurter à des impossibilités d'exploitation.

Enfin, et par-dessus tout, la nature du minerai, attentivement étudiée dans les traitements préliminaires, fournira les lumières les plus directes, pour instituer la formule définitive de préparation. Mais c'est ici que les généralités risqueraient de s'égarer dans le vague, et que la meilleure manière d'achever de fixer les idées, dans la mesure du possible, consiste à envisager, avec des détails suffisants, un certain nombre d'exemples effectifs.

Quelques-uns d'entre eux seront accompagnés de l'indication de leur prix de revient. Cette donnée est naturellement des plus variables, suivant les circonstances, même pour des matières similaires. On peut citer, à cet égard, les moyennes suivantes [1], rapportées à la tonne, et comprenant les frais de main-d'œuvre, les frais généraux, et l'amortissement.

[1] Formulées par MM. Huet et Geyler dans leur excellent opuscule (*Préparation des minerais*, p. 78).

	fr. c.
Fer	0,20
Manganèse	9,65
Galène en grenailles	7,20
Galène fine	9,65
Galène et blende en grenailles	12,10
Galène et blende fines	14,55
Cuivre pyriteux ou cuivre gris et pyrite de fer	12,05
Cuivre pyriteux ou cuivre gris et galène	17,00
Cuivre, galène et blende	25,00

§ 2

EXEMPLES — COMBUSTIBLES

1380 — *Généralités.* — Pour les combustibles, l'ensemble d'un atelier de préparation mécanique prend une physionomie toute spéciale [1].

Le broyage n'y figure presque jamais, sauf dans des cas tout à fait particuliers, comme pour les anthracites incapables de brûler sous un trop gros volume (n° 1387), ou en vue d'obtenir l'association intime de diverses matières, et une meilleure agglomération dans les fours à coke.

Le débourbage disparaît également, par la nature des choses [2].

[1] Busquet. Prép. méc. des charbons aux mines de Decize (*CRM*, 1883, 231). — Landrivon. Atelier de lavage du Martinet (*Bull. min.*, 2e, XII, 303). — Chalmeton. Anciens ateliers de Bességes (*Bull. min.*, 1re, IV, 735). — Meynier. Classement et lavage de la houille aux mines de Brassac (*Bull. min.*, 1re, I, 417). — Lebleu. Lavage de la houille à Brassac (*Annales*, 5e, XVI, 243). — Marsaut. Résultats du lavage de la houille à Bességes (*Bull. min.*, 2e, VIII). — De Marsilly. Mémoire sur le lavage de la houille en Belgique (*Annales*, 4e, XVII, 381). — Peters. Prép. des charbons dans le bassin de la Ruhr (*Rev. univ. d. m. et u.*, 2e, XV, 236). — Fr. Peters. Ueber die Aufbereitung der Steinkohlen im Ruhrbassin (*Œsterreichische Zeitschrift für Berg- und Hüttenwesen*, 1883, 656). — Baare. Kohlen Aufbereitung in Bochum (*ibidem*, 1882, 492). — J. Mayer. Kohlen Separation am Hermenegildschachte in polnisch Ostrau (*ibidem*, 1879, 357). — Harvey. On Coal-washing South-Wales (*Proceedings of the Institution of civil Engineers*, LXX). — Bérard. Épuration de la houille (*Bull. min.*, 1re, II, 5). — Max. Evrard. Prép. méc. des charbons (*Bull. min.*, 1re, IX, 305). — Pernolet. Prép. méc. de la houille (*Annales*, 7e, II, 115; VI, 363).

[2] On trouvera plus loin (n° 1387) une exception intéressante.

Le classement de volume, utile, comme toujours, pour le bon fonctionnement du criblage à la cuve, prend, par lui-même, et lors même que le charbon ne doit pas être lavé, une grande importance. Ce genre de conditionnement est, en effet, réclamé par les consommateurs au point de vue de la combustion. Tantôt les produits distincts, ainsi séparés les uns des autres, sont vendus sous cette forme immédiate, tantôt on les associe de nouveau, dans de certaines proportions, pour constituer des *charbons composés*, conformément aux demandes du commerce.

Le klaubage, ou triage à la main, joue toujours un rôle considérable. Les morceaux dont la grosseur le permet, passent sous les yeux de femmes, de filles, ou de gamins, qui enlèvent les schistes. Les pierres contribuent, en effet, à former des mâchefers, et à diminuer le pouvoir calorifique de la masse, tout comme les matières minérales finement disséminées. Mais contre celles-ci, l'on reste désarmé, tout l'effort de la préparation étant de débarrasser le combustible des *rochers* proprement dits, et aussi des *barrés* ou *crus*. Tout au moins, relègue-t-on ces derniers dans des sortes particulières, consommées par les chaudières de la mine, ou données comme affouage aux ouvriers, ou enfin livrées à des prix inférieurs, quand ils en valent encore la peine. On caractérise la qualité des produits d'après leur teneur en cendres. Les cahiers des charges des fournitures aux Compagnies de chemin de fer, à la marine, ou aux grandes industries, imposent, en général, à cet égard, une limite que l'exploitant doit atteindre, mais qu'il n'a pas intérêt à dépasser, puisqu'il ne lui en serait pas tenu compte ; ce qui établit ce genre de traitement dans des conditions un peu différentes de celui des minerais métalliques.

La pyrite constitue une matière encore plus redoutable. Elle ronge les grilles, et répand une odeur sulfureuse, intolérable pour le chauffage domestique. Le klaubage y a peu de prise, car elle est souvent assez finement disséminée. Le lavage seul peut en avoir raison, d'après la grande différence de densité qu'elle présente avec le combustible, pourvu que le mode de mélange s'y prête.

L'énorme tonnage, sur lequel on opère, contribue à imposer, à ce genre d'atelier, un caractère spécial. On emploie des appareils

simples, puissants, peu nombreux, à fonctionnement automatique, de nature à ne pas brutaliser le charbon. Lorsque celui-ci devient *mourreux*, la question des limons prend une importance particulière (nº 1320). Deux circonstances principales sont propres à favoriser leur développement : la friabilité relative de la matière pendant le traitement, et la rapidité inévitable du classement de volume d'aussi grandes masses, qui ne permet pas d'atteindre une grande perfection dans la séparation des poussières (nº 1298).

1381 — *Houillères de Lens* [1]. — On s'est proposé, au triage de Lens, de ménager autant que possible la friabilité du charbon dans les transports mécaniques. L'appareil, combiné par M. Reumeaux, à l'aide de ses chaînes à vitesses différentielles (nº 1276), est constitué de la manière suivante (fig. 820 et 821), et construit entièrement en fer.

Le culbuteur A donne le charbon dans la trémie B, d'où il est reçu sur la courroie distributrice C. Une grille à secousses D, à trous ronds de 10 millimètres, le débarrasse des matières fines, qui gêneraient l'appréciation des fragments par les trieuses. Ces fines sont reçues dans la trémie E, et le wagon F. Le charbon ainsi nettoyé s'engage sur la courroie de klaubage G, où il est débarrassé des schistes. Le combustible épuré passe de là sur la grille H de 40 ou de 70 millimètres, qui envoie son menu, par le couloir I, dans le wagon J. Le refus est admis sur la grille K, de 70 millimètres. La sorte, inférieure à 70 millimètres, est purgée, par la grille L, de ses fines qui se rendent, sur la glissière M, dans le récipient N. Le refus est déversé par la courroie de chargement O, dans le wagon P. Quant à la catégorie supérieure à 70 millimètres, elle parvient, le long du couloir Q, jusqu'au volet R, qui la retient, s'il est relevé, ou, après son rabattement, la déverse dans la caisse S. On charge ainsi le wagon T.

La figure 820 montre également cette caisse en S', après son repliement. Cette trémie est, en effet, *télescopique*, c'est-à-dire munie de rallonges qui permettent d'atteindre exactement le plan

[1] Renseignements dus à l'obligeance de M. Reumeaux (voy. tome I, p. 587).

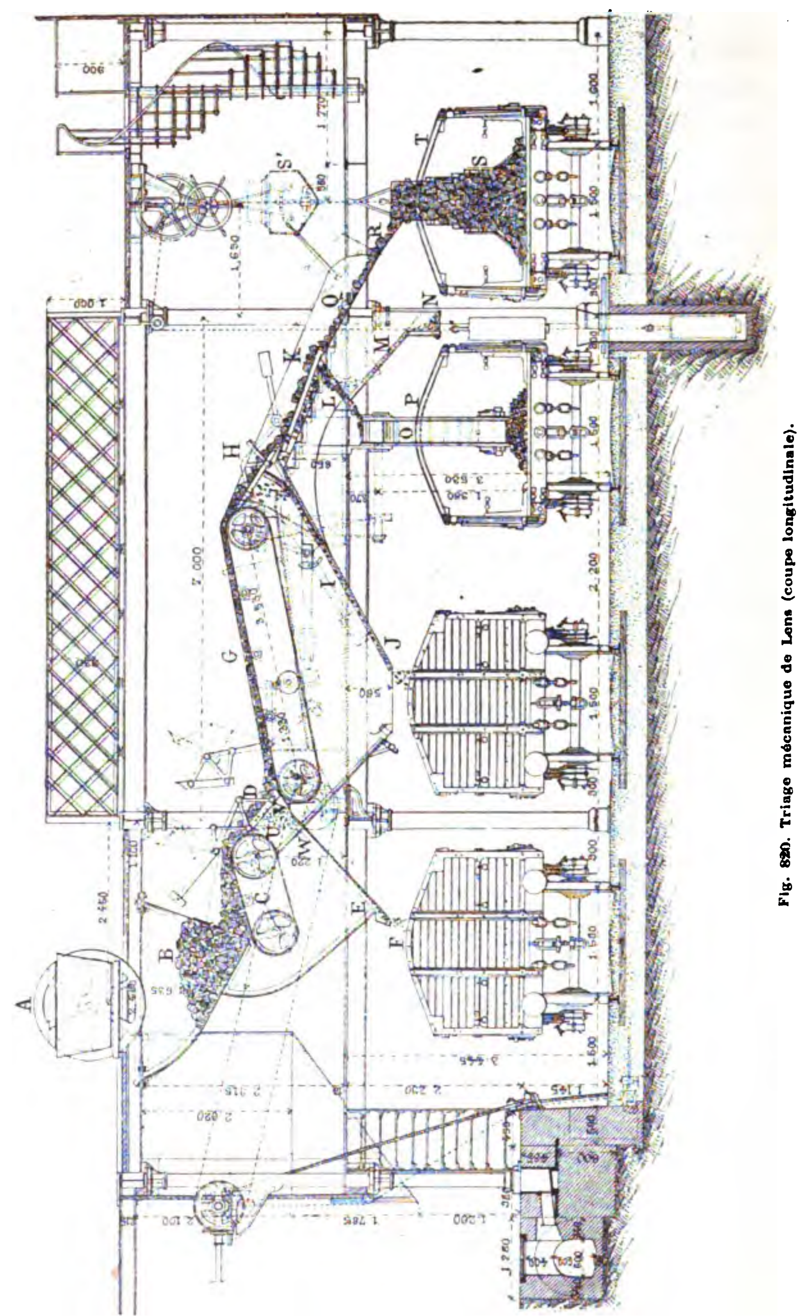


Fig. 820. Triage mécanique de Lens (coupe longitudinale).

de chargement, au fur et à mesure qu'il s'élève, de manière à déverser le charbon sans chute brisante. On la laisse, en outre, constamment pleine, et l'on arrive ainsi à manœuvrer, sans déchets importants, les combustibles les plus friables.

Le régime normal que nous venons de décrire peut être modifié, les quatre véhicules recevant des produits conditionnés d'une manière différente.

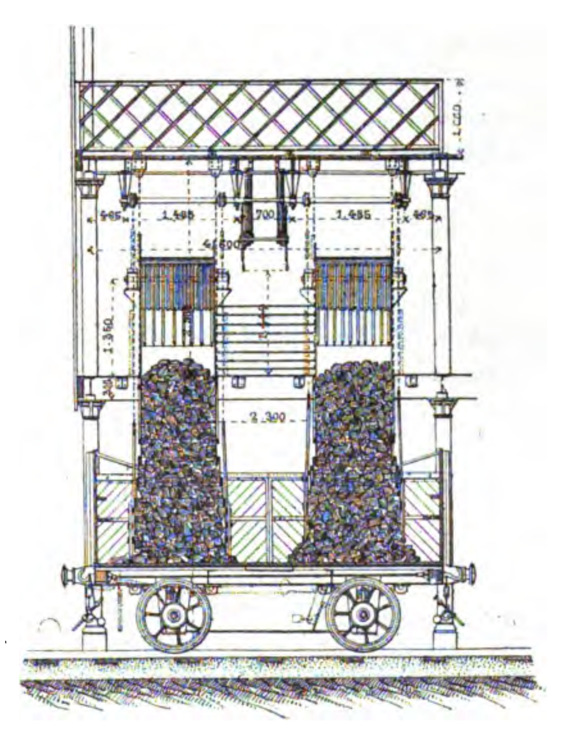


Fig. 821. Triage mécanique de Lens (élévation transversale).

Le wagon F, au lieu d'admettre tout ce qui est inférieur à 10 millimètres, par suite du passage à travers la grille D, ne reçoit plus que du 5 millimètres, trié par la grille à secousses U, si l'on renverse à gauche le volet V.

Le wagon J contient alors les fines comprises entre 5 et 10 millimètres, et les combine avec le déversement du couloir I, pour reconstituer des charbons composés. On y peut même adjoindre les

poussières inférieures à 5 millimètres, en renversant à gauche le volet W. On peut également isoler ces produits de ceux de la grille H, en recouvrant celle-ci d'une tôle pleine, pour la transformer en un simple couloir. On y recompose, au contraire, du *menu de chaudière*, en mettant le crible H à 40 millimètres ; ou du *charbon industriel*, en l'écartant à 70 ; ou encore du *tout-venant*, en supprimant complètement cette grille H. On obtiendra, de même, en dirigeant les fines vers F, du *grenu* de 10 à 40 ou à 70 millimètres, en mettant la grille à ce degré d'écartement ; ou, enfin, par son enlèvement, du *tout-venant criblé*. On aura simplement du *tout-venant amélioré*, si l'on ne dirige en F que les poussières inférieures à 5 millimètres.

Le wagon P n'admet que le *gailletin* de 40 à 70, tamisé par la grille L.

Le wagon T reçoit, du télescope S : soit la *gailleterie forte*, qui a été refusée sur la grille de 70 ; soit la *gailleterie ordinaire*, si l'on recouvre la grille B d'une tôle pleine, pour se tenir à 40 millimètres ; soit du *tout-venant criblé*, en oblitérant de même la grille H, tout en dirigeant les fines vers F.

1382 — *Houillères de Decazeville* [1]. — I. TRIAGE MÉCANIQUE DES PALEVRETS. — Dans cet atelier, une distance verticale de 5 mètres seulement, sépare le plan des rails de la Compagnie d'Orléans et celui des deux culbuteurs A (fig. 822, 823, 824). Ces derniers effectuent leur révolution sur quatre galets B, et sont munis de freins, qui permettent d'effectuer doucement le déversement du combustible. Au-dessous de chacun de ces appareils, se trouve une tôle perforée C, inclinée de 32 °/₀, et dont les trous, de 80 millimètres, sont séparés par des intervalles de 20 millimètres. Chaque grille reçoit, de la came D, 15 secousses par minute, et peut cribler, en 10 heures, 120 tonnes. Le refus, appelé *gros grêle*, est reçu par une table sans fin en tôle E, animée d'une vitesse de $0^m,04$. Des trieuses placées des deux côtés, n'y laissent que le charbon irréprochable. A l'extrémité, celui-ci tombe sur le couloir F, où

[1] Renseignements dus à l'obligeance de M. Petitjean.

des femmes en surveillent encore la qualité. Ce couloir mobile sert à effectuer le chargement dans les wagons de la Compagnie d'Orléans.

Les matières qui ont traversé les trous de 80 millimètres, tombent dans la trémie G, au bas de laquelle une vanne H s'ouvre,

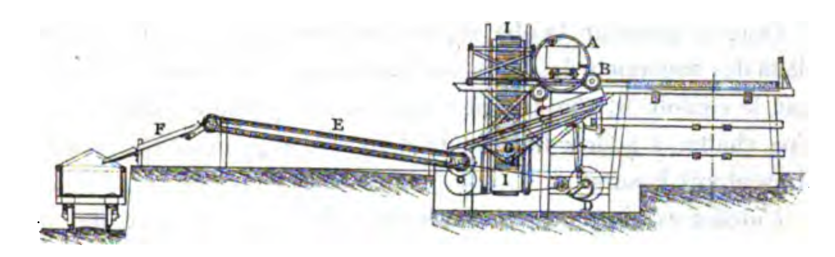


Fig. 822. Triage mécanique de Decazeville (coupe par l'axe de la grille).

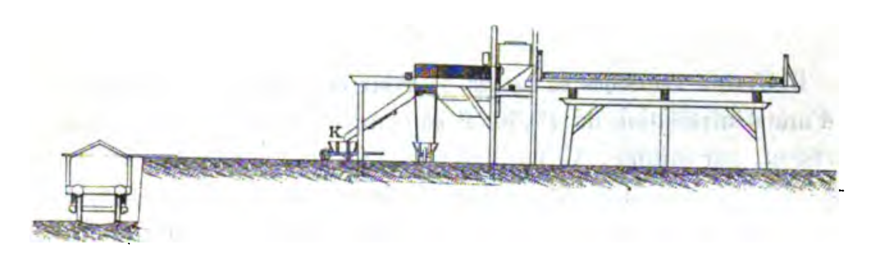


Fig. 823. Triage mécanique de Decazeville (coupe par l'axe de l'estacade).

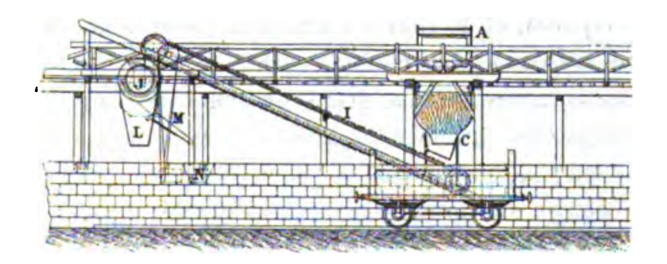


Fig. 824. Triage mécanique de Decazeville (élévation antérieure).

à des intervalles réguliers, au moyen de leviers mus par l'arbre de couche, pour déverser son contenu sur une chaîne sans fin I, formée de godets en tôle, qui remontent ces matières jusqu'au trommel J, tournant à raison de 9 révolutions par minute. Cet

appareil, muni d'une hélice intérieure en tôle, fait cinq catégories : 1° le *grêle*, refus d'une maille carrée de 45 millimètres; 2° le *petit grêle* à laver, retenu par la maille carrée de 25 millimètres; 3° les *grosses noisettes*, refusées par les trous de 18 millimètres; 4° les *petites noisettes*, supérieures à 13 millimètres; 5° le *petit menu*, ou poussier.

Chaque grosseur tombe séparément dans des brouettes K, ou dans des wagonnets desservis par les trémies L. Le menu se déverse sur le couloir M, aboutissant à une fosse N, pratiquée dans le sol. Une chaîne à godets le remonte dans des wagonnets, qui le conduisent aux lavoirs.

L'atelier est desservi par une locomobile de 20 chevaux, qui actionne, outre le criblage, deux groupes de lavoirs, destinés à traiter séparément le petit grêle et le menu. Chacune de ces sortes est lavée dans deux bacs successifs à piston.

II. TRIAGE MÉCANIQUE DE LACAZE. — Pour cet atelier, l'on disposait d'une dénivellation de $7^m,30$. Il se compose de 12 grilles qui exécutent, par minute, 15 oscillations de $0^m,10$ d'amplitude horizontale. Elles sont formées de tôles perforées de 80 millimètres. Le charbon, reçu dans une trémie, au sortir du culbuteur, est déversé successivement sur la grille, et s'avance, en se criblant, jusqu'à un couloir, sur lequel deux files de trieuses séparent les pierres, qui sont rejetées, et le *charbon cru*, qui passe à un concasseur Chapitel et Loiseau [1]. Une chaîne à godets en relève les fragments, qui repassent encore sur une grille oscillante. Un trommel classificateur reçoit les produits du klaubage, et donne, comme aux Paleyrets, cinq catégories. Chaque grille peut passer 150 tonnes de bon charbon, ou 120 tonnes de combustible de pureté inférieure.

1383 — *Houillères de Mariemont* [2]. — Les charbonnages de Mariemont et de Bascoup (centre du Hainaut) possèdent trois grands ateliers de préparation mécanique. Nous parlerons spécia-

[1] Voy. p. 693, note 1.
[2] Renseignements dus à l'obligeance de M. Guinotte.
Mathet (*CRM*, 1881; 26).

lement ici de l'installation du n° 5 de Bascoup, qui est la plus récente et la plus perfectionnée (fig. 825, 826).

Une halle de 43 mètres sur 28, complètement construite en fer, comprend trois étages. Le plancher supérieur, qui sert pour le roulage au niveau de la recette, présente une certaine inclinaison vers le puits, afin que les wagons vides puissent y retourner seuls. L'étage intermédiaire est horizontal, et consacré aux ma-

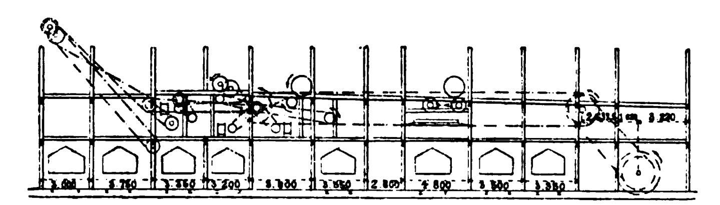


Fig. 825. Triage mécanique de Bascoup (coupe verticale).

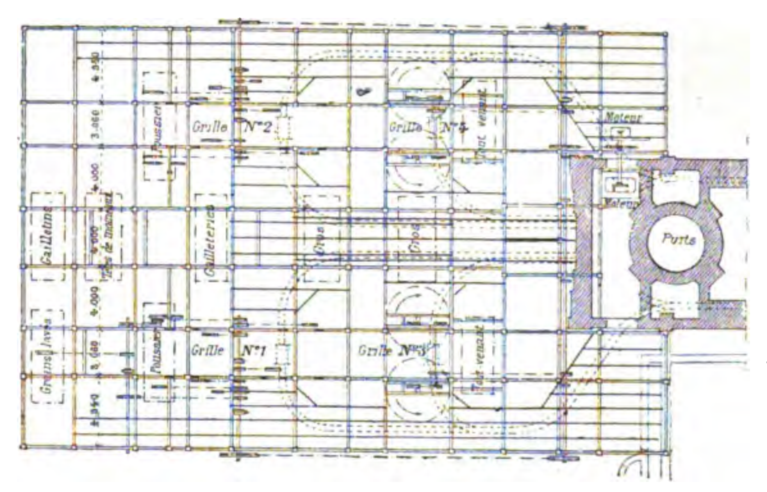


Fig. 826. Triage mécanique de Bascoup (plan horizontal).

nutentions. Le niveau inférieur porte les voies ferrées, qui se raccordent aux gares de Trazegnies et de Bascoup-Chapelle. L'atelier est symétrique. Chacune de ses moitiés comprend deux groupes d'appareils, dont l'un classe en cinq sortes, et l'autre en deux seulement.

Au sortir du puits, les wagonnets sont remontés sur les rampes

qui conduisent aux appareils, à l'aide de chaînes sans fin, tendues par un contrepoids et portant, de distance en distance, des maillons à crochets [1]. Au sommet, ils se dégagent de la chaîne, et un court *lancer* leur permet de gagner seuls le culbuteur, tant par la vitesse acquise qu'en raison de l'action de la gravité sur cette pente.

Ce culbuteur a été combiné par M. Guinotte d'une manière automatique, et en vue d'éviter les mouvements brusques. Il présente, par rapport aux types classiques (n° 767), les différences suivantes. L'appareil est traversé par le wagonnet de part en part, celui-ci sortant par l'extrémité opposée à celle de l'entrée, sans avoir besoin de rétrograder. Cette disposition est analogue à celle du verseur Marsaut (n° 769) ; seulement, au lieu de rouler d'un mouvement cycloïdal, la roue tourne sur elle-même, entre deux systèmes de galets. En raison de ce versement latéral, le chargement se répartit sur une plus grande longueur de grille, ce qui facilite le triage. Les galets servent, non seulement à supporter le culbuteur, mais à en commander le mouvement. A cet effet, l'une des deux paires de rouleaux est actionnée par des galets de friction, analogues à ceux des tire-sacs, et taillés en coin, d'après le système Minotto, afin d'augmenter l'adhérence [2]. Il suffit dès lors d'un léger effort, pour les engager à la main, au moment voulu, à l'aide d'un ingénieux système de contrepoids.

Dans les *systèmes à deux classements*, le tout-venant tombe sur une grille Briart à double oscillation, avec arbres coudés et entretoises variables (n° 1300). Le gros se rend dans une trémie, qui le conduit à une grille fixe, au niveau du wagon dans lequel il est déposé à la main. Les matières qui traversent ce crible, sont reçues dans un chariot et rejetées dans le tout-venant.

Le menu qui a traversé la grille mobile, est reçu, au-dessous, sur un tablier incliné à 20 degrés. Cette pente serait insuffisante pour déterminer le glissement. On lui vient en aide par des secousses. Ce système de déversement sur les tables de klaubage est destiné à y répartir le charbon, d'une manière aussi uniforme que possible.

(1) Fernand Thiébaut. *Bulletin* des ingénieurs de l'École des mines de Mons, 1880.
(2) Haton de la Goupillière. *Traité des mécanismes*, 36.

Chaque tablier, séparé en deux travées par un dos d'âne, conduit à deux tables tournantes (n° 1276), dont les racloirs déversent le contenu, après le triage, dans des couloirs hémi-cylindriques, afin d'éviter les angles dièdres, qui détériorent le combustible. Ils sont mobiles autour de charnières, et munis en outre d'un avant-bec, de manière à permettre de charger dans toute la largeur du wagon. Cet ensemble reçoit cinq chariots par minute, ce qui correspond à un débit de 120 tonnes à l'heure. Mais on peut, en cas de besoin, forcer ce chiffre jusqu'à 168 tonnes.

Dans les *systèmes à cinq classements*, le culbuteur déverse le tout-venant sur une grille Briart inclinée à 10 degrés. Le *gros*, qui s'y trouve retenu, est dirigé par elle vers une trémie. Ce qui traverse est reçu par un tablier à secousses, de 15 degrés d'inclinaison. Il se déverse sur une seconde grille Briart horizontale. Le refus, ou la *gailletterie*, passe sur une corde de translation et de nettoyage, qui aboutit à une caisse télescopique de chargement. Une trémie à secousses reçoit ce qui a traversé cette seconde grille, et le rend à une noria, qui le relève sur une troisième grille horizontale. Les *gailletins* qu'elle retient sont conduits, sur une corde, au chargement. Enfin une quatrième grille reçoit, par l'intermédiaire d'un tablier à secousses, ce qui a traversé la précédente. Elle garde les *têtes de moineaux*, qu'une corde mène au chargement, ou, suivant les besoins du commerce, au mélange avec le poussier, après que ces têtes de moineaux ont été expurgées par le nettoyage. Quant au *poussier* qui a traversé toutes les grilles, il est conduit, par une trémie, au chargement direct, ou aux lavoirs à feldspath, s'il doit être épuré.

Pendant leur remplissage, les wagons se trouvent placés sur des ponts de pesage. On les tare vides, avec l'ouvrier qui s'y est placé, et l'on fait la seconde lecture, lorsque la charge est complète. Ce procédé évite de grandes pertes de temps, et donne toutes facilités, pour effectuer les mélanges en proportions déterminées.

La force motrice est fournie par une machine verticale, dont le cylindre a $0^{m},60$ de diamètre et $0^{m},50$ de course, avec admission au quart, et une vitesse de 55 à 65 tours par minute. Les divers appareils lui sont reliés par des embrayages de friction, qui évitent

les chocs dans les remises en marche (¹). Les transmissions sont en cordes de chanvre, avec poulies à gorge en V.

1384 — *Houillères de Saint-Étienne* (²). — Le puits Saint-Louis extrait, par chacune de ses bobines, à un étage distinct, au moyen d'enroulements différents.

1° Au niveau de 275 mètres, on envoie au jour, dans les vingt-quatre heures, 350 bennes, ou 175 tonnes, provenant des couches nos 7, 9, 10, 11, 12 du système houiller de Saint-Étienne. Ce sont des charbons d'usine, qui ne se vendent qu'à l'état de *gros*, séparé dans la mine, et de *menu-sortant*, qui subit simplement un triage sur des couloirs, d'où il tombe directement dans les wagons.

2° A l'étage de 400 mètres, on extrait 625 bennes, ou 280 tonnes, d'un charbon de forge de première qualité, fourni par la 13e couche du bassin. Pour avoir toute sa valeur, il doit être épuré à la main. Une faible partie seulement passe au lavage. On procède, en outre, à des classements de grosseur, conformes aux demandes du commerce. Cette production se subdivise ainsi :

Gros	125	bennes.
Menu-sortant propre	465	—
Menu sale	35	—
	625	—

Le menu sale passe sur une tôle fixe perforée de 30 millimètres. La partie qui traverse va au lavage, qui la réduit de 32 à 7 °/₀ de cendres. Le refus, qui est à peine d'un cinquième, est trié avec soin à la main, et vendu pour le chauffage domestique.

Le gros subit une diminution de 25 °/₀, sous forme de menu, en raison des brisements effectués naturellement ou dans le triage. Ce déchet est réuni directement avec le menu-sortant propre.

Celui-ci, joint au déchet du gros, perd, dans son traitement, 4 °/₀

(¹) Haton de la Goupillière, *Traité des mécanismes*, 392.
(²) Renseignements dus à l'obligeance de M. Chansselle.

du résidu net, lequel est de 450 kilogrammes par benne après triage. On le traite sur deux appareils de criblage, n°s 1 et 2 ([1]).

Le système n° 1 se compose de deux tôles perforées superposées. La plus élevée reçoit le charbon, débité par une trémie munie d'un rouleau distributeur, qui est animé d'une vitesse de $0^m,034$ à la circonférence. La matière qui a traversé la seconde tôle, est amenée, par deux hélices, dans deux trommels symétriques, qui la divisent encore en deux sortes. Les diamètres de ces trois surfaces criblantes sont de 45, de 20 et de 4 millimètres. Ils donnent quatre sortes : les *grelats*, les *chatilles*, les *petites grenettes* et le *fin-fin*. On remplace parfois le crible supérieur par une tôle à trous de 30 millimètres, dont le refus porte alors le nom de *débris de crible*.

Les grelats, ou les débris de crible, sont triés à la main, sur une toile sans fin en aloès de $1^m,20$ de largeur, passant, avec une vitesse de $0^m,107$ entre deux rangs de trieuses. A l'extrémité, ils tombent sur un couloir articulé qui les charge dans le wagon.

Les chatilles sont traitées d'une manière semblable. Elles forment le dernier terme de grosseur sur lequel puisse s'exercer le triage à la main.

Tantôt les chatilles épurées sont mélangées finalement avec les petites grenettes, pour former du charbon de forge; tantôt on s'abstient de séparer les grenettes du fin-fin ; tantôt enfin on effectue cette séparation, en employant cette dernière sorte pour la carbonisation et l'agglomération. On peut alors, au besoin, réunir les trois catégories supérieures au fin-fin, pour constituer, par leur ensemble, le *menu grenu*.

Le système n° 2 ne diffère du précédent qu'en ce que les trommels sont remplacés par un crible en toile métallique de 4 ou 5 millimètres, faisant 120 oscillations par minute, sous l'empire d'excentriques, qui présentent une excentricité de $0^m,10$.

1385 — *Houillères de Blanzy* ([2]). — Un premier triage grossier,

([1]) Les 465 bennes de menu-sortant propre, jointes à 30 bennes de débris de gros, forment un total de 495. On en passe 285 au crible n° 1, et 210 sur l'appareil n° 2.

([2]) Renseignements dus à l'obligeance de M. Mathet (Voy. t. I, p. 584).

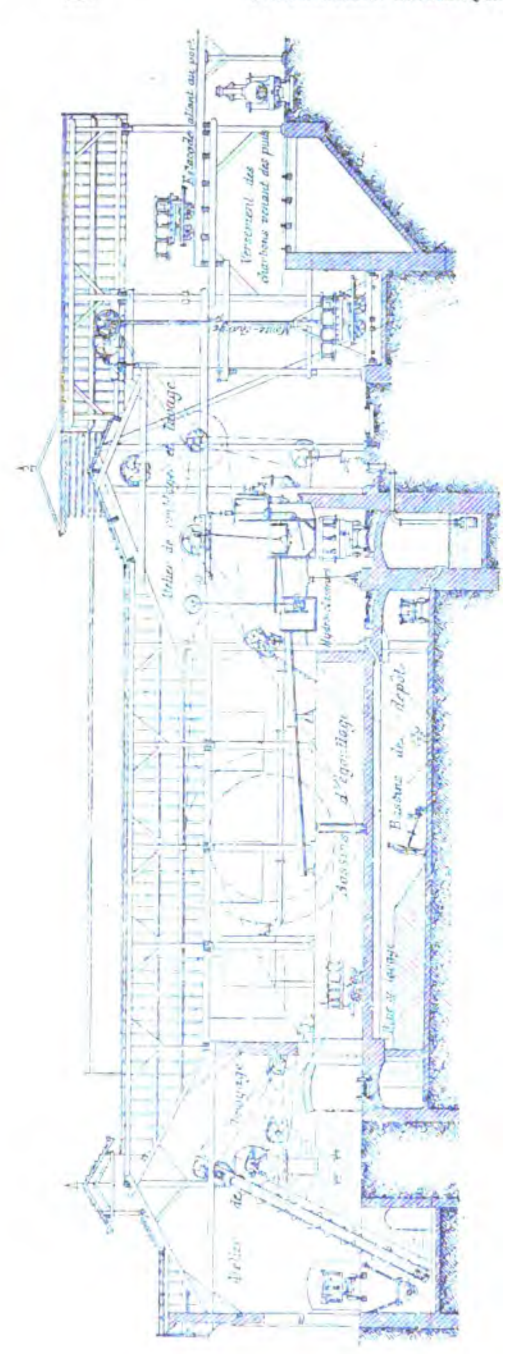


Fig. 827. Atelier du Magny (Montceau-les-Mines) (coupe verticale).

fait à la main sur chaque puits, prélève sur le tout-venant environ 8,5 °/₀ : à savoir 3,5 °/₀ de rocher rejeté, et 5,0 °/₀ de charbon barré, utilisé pour le chauffage des chaudières ou des ouvriers. Le reste, qui représente à peu près les deux tiers de la production annuelle, de dix millions d'*hectolitres* (¹), est conduit, par des locomotives, aux ateliers de préparation mécanique situés au puits du Magny, et aux divers ports d'embarquement (fig. 827, 828), pour y subir deux catégories d'opérations : 1° criblage et triage ; 2° lavage et épuration.

On emploie simultanément le système Briart (n° 1300) et le crible à secousses. Le premier donne des menus mieux composés pour la vente; le second procure un meilleur classement sur ses tôles perforées. La

(¹) L'hectolitre de tout-venant pèse 85 kilogrammes, et celui des menus bruts criblés 80 kilogrammes.

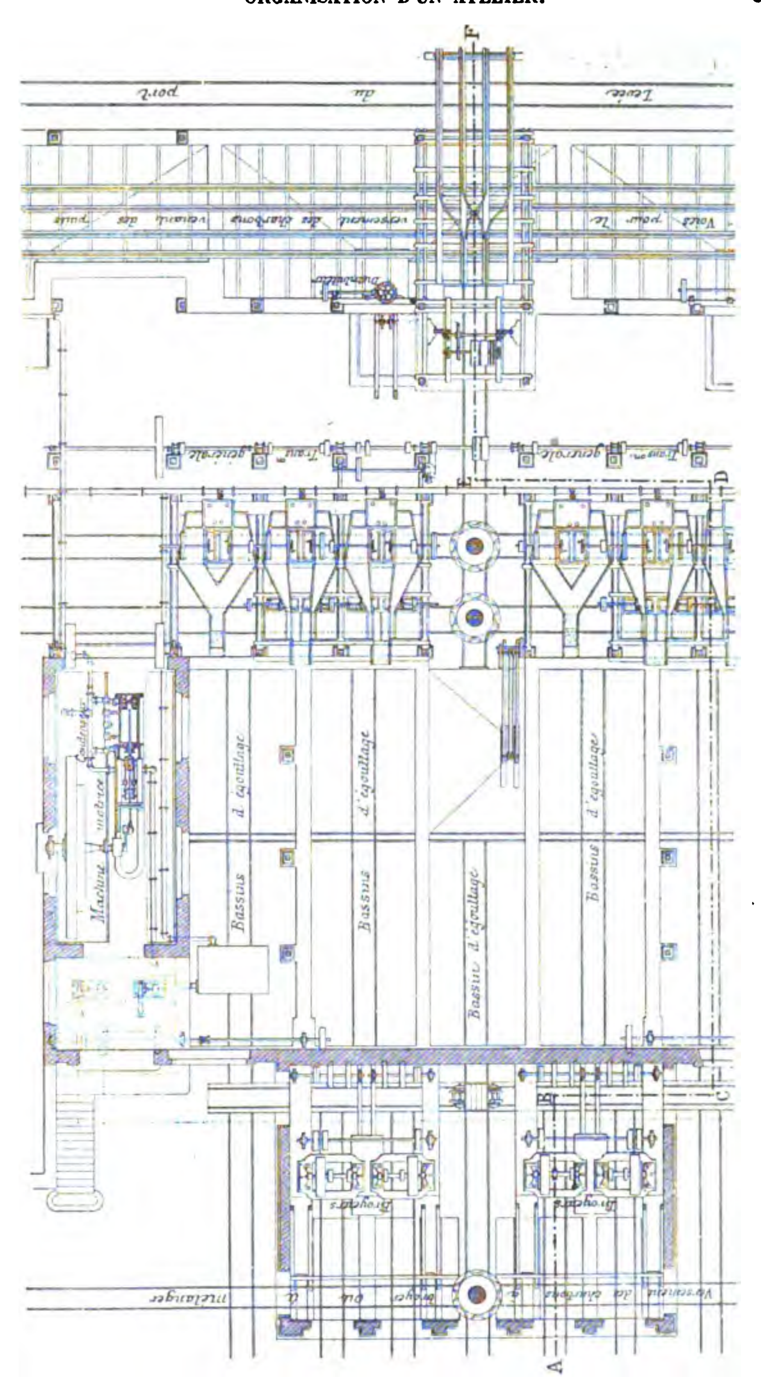


Fig. 828. Atelier du Magny (Montceau-les-Mines) (plan horizontal)

puissance de production varie, suivant le degré d'impureté du combustible, entre 4 et 5 mille hectolitres en 10 heures, pour le crible Briart de 25 millimètres; 3 à 4 mille, pour le crible à secousses de 40 millimètres; elle atteint 1100 hectolitres, pour le crible à poussière de 5 millimètres. Cette marche pourrait être accélérée dans une certaine mesure, sans la nécessité de suivre celle du triage à la main, opéré sur le refus.

Cette dernière opération s'effectue sur les toiles d'entraînement, qui font suite aux cribles, et passent sous les yeux des trieuses. La vitesse, variable avec le degré d'impureté, est en moyenne de 0m,12 par seconde. On atteint les proportions suivantes :

Gros (de 1re et 2e qualités)	2,00
Purgé de menu (de 1re et 2e qualités)	15,00
Menu (inférieur à 40 millimètres)	75,28
Charbon barré (1)	5,36
Rocher	2,36
	100,00

Le menu, qui forme la troisième sorte, est remonté à l'aide d'élévateurs, et conduit, par une chaîne sans fin, aux trémies d'alimentation des lavoirs, en passant par un trommel qui le divise en trois catégories : 1° la *grosse braisette*, de 40 millimètres à 25; 2° la *fine braisette*, de 25 à 10; 3° le *fin*, au-dessous de 10 millimètres. Chacune de ces catégories est lavée à part. Le lavage passe mensuellement 377 363 hectolitres en moyenne. Les résultats se répartissent conformément au tableau suivant :

(1) Ces nouvelles quantités de chauffe et de rocher sont indépendantes de celles qui ont été déjà enlevées sur le carreau de la mine.

PRODUITS	PROPORTION	TENEUR EN CENDRES
Grosse braisette	26,80	7,00 %
Fine braisette	24,52	6,50 »
Fin pulvérulent	36,99	7,00 »
Schistes.	9,69	55,00 »
Schlamms	2,00	25,00 à 30,00 %
	100,00	

Le prix de revient de la préparation mécanique s'établit de la manière suivante, en *centimes par hectolitres :*

1° *Triage sur les puits :*

	centimes	
Main-d'œuvre et surveillance.	0,520	
Fournitures.	0,060	
	0,580	0,580

2° *Triage et criblage sur les ports :*

Surveillance.	0,780	
Trieuses de chauffe et de rocher.	0,832	
Cribleuses.	1,712	
Manœuvres aux wagons.	0,546	
Machinistes et chauffeurs	0,162	
	4,032	4,032

3° *Lavage :*

Chargement, déchargement	1,140	
Classement des charbons	0,256	
Main-d'œuvre du lavage.	0,554	
Machinistes, chauffeurs	0,262	
Entretien, réparations.	1,115	
Frais généraux.	0,193	
Curage des bassins.	0,254	
Combustible.	0,381	
	2,955	2,955
Total.		3,600

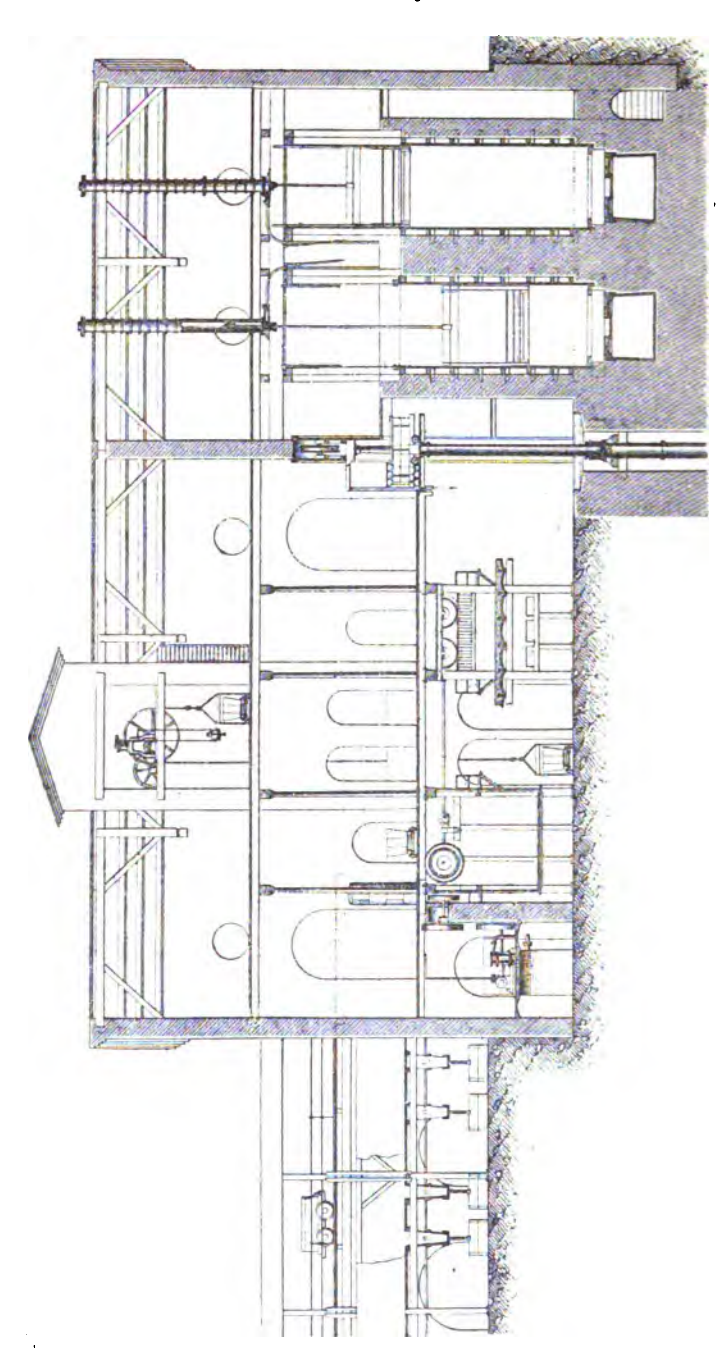


Fig. 829. Atelier de Bessèges, avec lavoir Marsaut (coupe longitudinale).

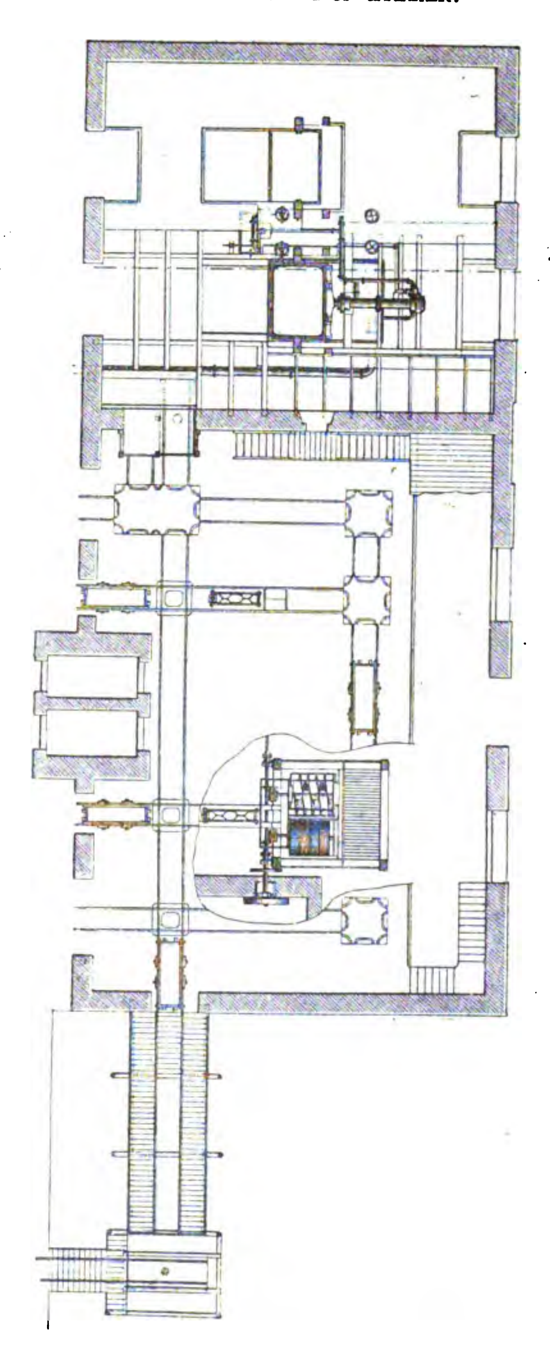


Fig. 830. Atelier de Bessèges, avec lavoir Marsaut (plan horizontal)

Le total revient donc à 0 fr. 036 par hectolitre, c'est-à-dire 0 fr. 423 par tonne.

Le devis d'établissement de l'un des ateliers de triage et criblage établis sur les ports de chargement, et pouvant passer journellement 12 000 hectolitres, ressort des chiffres suivants :

	francs
2 grilles Briart	14 622
4 chaînes de triage en tôles articulées	5 411
2 monte-charges (menus et tout-venant)	8 000
Voies et plaques tournantes	10 850
Transmissions et poulies	2 640
Courroies	1 200
Chaîne de 60 mètres, pour charger dans les wagons.	16 000
Machine motrice (ayant déjà servi)	3 640
Chaudière à vapeur et sa cheminée	4 120
Bâtiments	18 955
Terrassements	7 390
	92 828
Depuis son installation, cet atelier a été agrandi par l'adjonction d'un crible à secousses, de nouvelles tables de triage, et d'une chaudière supplémentaire	30 000
TOTAL	122 828

1386 — *Houillères de Bessèges*[1]. — Le traitement des *menus sortants*, c'est-à-dire du charbon qui ne peut être chargé qu'à la pelle dans la mine, commence par un criblage à l'aide de trommels (fig. 829, 830) qui donne, d'une part, des produits à trier, ou *grêlons*, refusés par la maille carrée de 40 millimètres, et, en second lieu, des produits à laver. Ceux-ci comprennent les *grelassons bruts*, qui sont refusés par la maille de 20 millimètres, et traités au lavoir Marsaut (n° 1315), et les *menus criblés*, que l'on passe au bac à piston. Nous allons examiner successivement ces quatre opérations.

[1] Renseignements dus à l'obligeance de M. Marsaut (Voy. tome I, p. 582).

1° Criblage. — La classification des menus sortants a porté, dans l'exercice 1883, sur 108 299 570 *kilogrammes*. Les frais ont été les suivants :

	fr. c.	
Verseurs aux trommels.	2 004,65	
Rouleurs.	4 448,50	
Machinistes (monte-charge et verseurs)	4 122,35	
Ascenseur des grêlons	1 355,90	
Balayage, nettoyages.	895,85	
Surveillant.	1 848,00	
Main-d'œuvre.	14 675,25	14 675,25
Fournitures.		732,65
Réparations		2 096,05
Un quart des frais d'ensemble.		3 840,45
Total de la dépense		21 344,45

La dépense du criblage ressort ainsi, par tonne, à :

$$\frac{21\,344,40}{108\,299,57} = 0^{fr.},197.$$

Si l'on affecte, comme prix d'ordre, au menu sortant, le prix de revient de l'exploitation, qui est de 10 fr. 50 par tonne, la valeur des matières représente	1 137 145,45
Elle devient donc, après l'opération	1 158 489,85

Les produits se répartissent de la manière suivante, en les estimant uniformément à :

$$10^{fr.},500 + 0^{fr.},197 = 10^{fr.},697$$

par tonne.

PRODUITS	TONNAGE	VALEUR	PROPORTION
	kilogr.	francs	centièmes
Grelassons bruts (A).	19 218 757	205 626,20	17,6
Menus criblés (B)	76 277 273	815 792,45	70,6
Produits à laver.	95 496 030	1 021 418,65	88,2
— à trier (grêlons) (C).	12 803 540	137 071,20	11,8
	108 299 570	1 158 489,85	100,0

2° Triage. — Le triage des grêlons est opéré par des enfants de treize à seize ans, qui, en 1883, ont gagné en moyenne 1 fr. 67 par jour. Les frais se sont établis comme suit :

Petits grêlons :	fr. c.	
Triage spécial.	6 162,35	
Service de l'ascenseur et des pierres.	2 577,60	
Triage du charbon schisteux	733,85	
Surveillance	930,75	
	10 404,55	10 404,55
Gros grêlons :		
Triage spécial.		2 514,05
Dépenses		12 918,60
Valeur des matières (C) . . .		137 071,20
		149 989,80

Les produits se sont répartis de la manière suivante :

	kilogr.
Petites mottes.	223 790
Gros grêlons	4 463 595
Petits grêlons.	4 995 615
	9 683 000
Grêlons schisteux.	1 491 450
	11 174 450
Pierres rejetées	1 629 090
Total égal (C).	12 803 540

La dépense du criblage, répartie sur les seuls produits finis, est donc par tonne :

$$\frac{12\,918,60}{11\,174,45} = 1^{fr.},15.$$

En tenant compte de la valeur relative des grêlons schisteux, par rapport au menu sortant, qui est coté 10 fr. 50, on voit leur prix d'ordre s'abaisser à 10 francs.

Si donc, de la valeur totale	149 989,80
on déduit celle de la sorte en question : $10 \times 1491,45 =$	14 914,50
	135 075,30

on aura, pour le prix des trois autres sortes ensemble :

$$\frac{135\,075,30}{9\,683,00} = 13^{fr.},948$$

par tonne.

Dès lors, les valeurs se répartissent de la manière suivante :

PRODUITS	TONNAGE	PRIX DE REVIENT	VALEUR	PROPORTION
	kilogr.	francs	francs	centièmes
Petites mottes	223 790	13,948	3 121,60	1,8
Gros grêlons	4 463 595	13,948	62 261,40	35,1
Petits grêlons	4 995 615	13,948	69 692,50	39,3
Grêlons schisteux	1 491 450	10,000	14 914 50	11,7
Pierres	1 629 090	»	»	12,1
TOTAL ÉGAL (C). . .	12 803 540	»	149 989,80	100,0

3° LAVAGE DU MENU CRIBLÉ AU BAC A PISTON. — Cette opération est effectuée par des hommes à prix fait, qui ont gagné 4 fr. 52 par jour, en 1883. On obtient, d'une part, des limons, déposés par les eaux boueuses qui sortent de l'atelier, et dont le produit a été affermé pour une somme de 3000 francs; en second lieu, deux qualités de menus lavés. La seconde qualité provient du relavage d'un tiers des schistes séparés à la pelle, à la partie supérieure des bacs. On leur attribue le prix d'ordre de 10 fr. 50 qui représente leur valeur commerciale. Il s'ensuit alors (d'après une marche de calcul analogue à la précédente, et que je m'abstiendrai dorénavant de détailler), un prix de 16 fr. 018 pour la première qualité, le prix de revient en main-d'œuvre et fournitures ressortant à 1 fr. 15. Les teneurs en cendres sont de 24,24 0/0 pour le menu criblé soumis à l'opération; de 8,07 et 21,96 0/0 pour les deux qualités de menus lavés; 48,47 pour le limon des bacs; 48,64 pour le produit du relavage d'un tiers des schistes; 72,12 pour les deux tiers rejetés directement.

Les dépenses s'établissent de la manière suivante :

	fr. c.	
Distribution du menu criblé.	1 271,50	
Lavage	17 466,35	
Lavage des schistes	1 474,30	
Roulage à la place à coke	7 676,05	
Roulage à l'ascenseur	2 525,50	
Roulage de l'ascenseur à la balance .	1 793,95	
Chargement des limons	1 355,95	
Roulage des limons et des schistes .	4 523,75	
Prises d'essai.	1 901,25	
Basculeurs.	1 848,10	
Soins à la machine motrice.	144,00	
Réparation des grilles et des tamis. .	1 098,00	
Nettoyage des chemins.	711,15	
Faux frais divers	148,30	
Main-d'œuvre.	43 938,05	43 938,05
Fournitures, machine		418,95
Eau de lavage (1)		4 392,90
Atelier de réparations		1 341,05
Moitié des frais d'ensemble		7 680,85
DÉPENSES		57 771,80
VALEUR DES MATIÈRES (B)		815 792,45
		873 564,25

Le prix de revient, en main-d'œuvre et fournitures, ressort à 1 fr. 15.

Les produits se répartissent ainsi :

(1) 0 fr. 08 par tonne de lavé.

PRODUITS	TONNAGE	PRIX DE REVIENT	VALEUR	PROPORTION
	kilogr.	francs	francs	centièmes
Menus lavés (1re qualité) . .	53 381 473	16,018	855 089,40	70,0
— — (2e —) . .	1 473 795	10,500	15 474,85	1,9
Produits finis . . .	**54 855 268**	»	870 564,25	**71,9**
Schistes	11 304 147	»	»	14,8
Limons des bacs	10 117 858	»	»	13,3
Produits stériles. .	**21 422 005**	»	»	**28,1**
A déduire : fermage des limons	. . . . . .	. . . .	3 000,00	»
Total égal (B) . . .	76 277 273	»	873 564,25	100,0

4° Lavage des grelassons bruts au lavoir Marsaut. — Les dépenses s'établissent comme il suit :

	fr. c.	
Laveurs.	1 100,60	
Service de l'ascenseur.	1 826,50	
Transport des schistes et des limons. .	1 484,75	
Surveillants.	848,40	
Main-d'œuvre	5 260,25	5 260,25
Fournitures, machine		349,10
Eau de lavage.		1 197,20
Atelier de réparations		486,60
Un quart des frais d'ensemble		3 840,45
Dépenses		11 133,60
Valeur des matières (A). . . .		205 626,20
		216 759,80

Le prix de revient, en main-d'œuvre et fournitures, ressort à 0 fr. 72.

Les produits se répartissent de la manière suivante. Le prix d'ordre

de 6 francs, porté pour les limons utilisables, est une valeur relative, établie par appréciation.

PRODUITS	TONNAGE	PRIX DE REVIENT	VALEUR	PROPORTION	TENEUR EN CENDRES
	kilogr.	francs	francs	°/°	°/°
Grelassons lavés . .	14 731 256	14,888	211 911,45	76,6	14,85
Limons utilisables .	800 390	6,000	4 848,35	4,2	28,42
	15 531 646	»	»	80,8	»
Produits stériles. .	3 087 111	»	»	19,2	64,83
Total égal (A). .	19 218 757	»	216 759,80	100,0	»

Il importe de noter que le prix de revient des produits finis, grêlons, menus lavés, grelassons lavés, ne comprend ni amortissement des ateliers, ni frais généraux. La dépense d'amortissement, calculée au dixième pour le roulement de 1883, serait de 0 fr. 24 par tonne de produits finis. Quant aux frais généraux, ils comportent des questions d'appréciation, qui ne permettent de les citer ici que pour mémoire.

1387 — *Mines de lignite des Bouches-du-Rhône* (¹). — I. Triage mécanique de Gardanne. — On a établi, au siège de Gardanne, un appareil de classement automatique sans lavage, qui traite en 10 heures, avec une force de 4 chevaux, 300 tonnes de lignite, et pourrait, au besoin, en passer 500. Les wagonnets sont versés sur une trémie sans fond, aboutissant à trois grilles à secousses, étagées l'une au-dessus de l'autre, et donnant quatre grosseurs, dans les conditions suivantes.

1° Les *mottes* ou *roches*, retenues sur la grille de 40 à 50 millimètres, et triées sur un couloir incliné de 0,38. Les rebuts sont jetés dans quatre entonnoirs adjacents, fermés par des vannes à contrepoids, qui chargent automatiquement de petits wagonnets. Quant au charbon, il passe encore sur une grille fixe, et, de là, il

(¹) Renseignements dus à l'obligeance de M. Biver.

traverse un bec immobile, et un avant-bec à charnière, manœuvré par un treuil, pour le chargement des wagons P.-L.-M. On peut également le livrer au charretage, en enlevant une portion du couloir de triage. Ce qui passe sur cette grille d'expurgation est repris et chargé à la main, sur charrettes ou sur wagons.

2° Les *gros grelassons*, refusés par la seconde grille, sont conduits, par un couloir qui participe au même mouvement, à une toile sans fin, mue par 2 tambours placés à 10 mètres de distance l'un de l'autre. Cette toile les déverse, soit directement, dans l'entonnoir de chargement des wagons; soit dans celui des charrettes; soit enfin dans un couloir d'emmagasinage, pouvant renfermer 12 tonnes. Ces organes de chargement sont précédés d'une grille fixe, pour réaliser une dernière expurgation. Le couloir-magasin est muni d'un avant-bec mobile, actionné par un treuil.

3° Les *petits grelassons*, fournis par la troisième grille, suivent une marche semblable; mais ils aboutissent seulement à un couloir-magasin de 10 tonnes, attendu que cette production est faible et irrégulière.

4° Un couloir placé sous la dernière grille reçoit la *terre fine*, qui a traversé tout l'ensemble. Il est entraîné par l'appareil à secousses, et conduit à une troisième toile sans fin, qui aboutit elle-même à un triple système de chargement, semblable à celui des gros grelassons.

On a réalisé, dans cet atelier, une particularité intéressante, en supportant les trois grilles et le couloir à l'aide d'une cage, qui repose sur des rails, par l'intermédiaire de huit roues. Le mouvement d'oscillation horizontale est transmis à cette cage par quatre bielles, symétriquement placées, pour qu'elle ne puisse sortir de son aplomb. De cette manière, l'ébranlement n'est communiqué qu'aux supports de l'arbre de transmission.

II. Triage et lavage de Castellane-Léonie. — Au siège Castellane, le triage s'accompagne d'un lavage, et, en outre, d'une particularité très caractéristique : le débourbage à vapeur, avec un certain degré de broyage.

Grilles. — Le chargement se fait directement dans les wagons

P.-L.-M. à l'aide de grilles fixes, à savoir : 1° Six *grilles à charbon*, donnant des *mottes*. Elles sont inclinées de 18 degrés, avec 25 à 30 millimètres d'écartement. Au pied, se trouve un tablier à charnière, qui se relève pour fermer la grille, ou s'abaisse en forme de couloir de triage et de chargement. Pour chaque grille, une trémie reçoit les menus, ou *terres grosses ;* 2° Cinq *grilles à terre*, qui retiennent le *grelasson*. Elles sont inclinées de 30 degrés, avec espacement de 5 à 10 millimètres. Elles chargent directement dans les wagons. Sous chacune d'elles, une trémie reçoit les *terres fines ;* 3° Deux couloirs, qui présentent une pente de 30 degrés, sont destinés à charger directement, soit de la terre fine ou criblée, soit tous les autres produits secs ; 4° Un couloir encore plus incliné, avec trémie et soupape, sert au chargement direct des menus lavés.

Broyeurs. — Le broyage est destiné à produire, au besoin, des grelassons et des menus. On y emploie deux paires superposées de cylindres, munies de dents amovibles en acier, qui ont été employées pour la première fois dans ces ateliers. Des cribles à secousses, placés au-dessous, séparent les grelassons des menus. Les premiers glissent directement dans les wagons P.-L.-M. Les seconds sont recueillis dans des trémies.

Élévateurs. — Une voie de mine dessert les soupapes de toutes les trémies. Elle aboutit à divers appareils de relevage, à savoir : 1° Deux monte-charges à vis. Ils sont formés de cages équilibrées par l'intermédiaire de chaînes de suspension, et mues par une vis sans fin. Le rendement de cet organe n'est pas très favorable, mais le total du travail sur lequel il porte est, par lui-même, peu important. De plus, on y trouve cette facilité que, la vis ne pouvant rétrograder seule par l'influence du poids, on n'a besoin ni de clichages ni de frein, ce qui simplifie les manœuvres ; 2° Un monte-charge hydraulique ordinaire ; 3° Une grande rampe, pour remonter les déchets sur le plateau. On les y entasse par couches successives de 5 mètres d'épaisseur, en prolongeant successivement le plan incliné, et reportant de plus en plus haut son mécanisme.

Malaxage. — Le combustible est mélangé de feuillets argileux, que les procédés ordinaires de lavage seraient impuissants à en séparer. On fait donc passer les menus à un malaxeur à vapeur, semblable

à ceux que l'on emploie pour former la pâte des agglomérés. Il a pour effet d'hydrater, et de déliter rapidement ces matières. L'argile passe en grande partie dans les mourres, et le reste s'en va en émulsion, dans l'eau de surverse des lavoirs. Cette émulsion tendant à recouvrir, d'une pellicule argileuse, les menus lavés, on a établi, au-dessus de leur chaîne de relevage, trois tuyaux d'arrosage, pour les rincer sous une pluie abondante.

Lavage. — Les terres fines remontées par des élévateurs, sont versées dans une vaste trémie d'emmagasinage, au pied de laquelle un rouleau les distribue, sous forme de ruban, sur un petit crible à secousses, afin de les débarrasser des poussières qui embourberaient le lavoir. Ces matières sont directement livrées à la vente, ou rebutées, suivant les cas. Le refus tombe dans une fosse, où le puise une chaîne à godets, qui le relève au niveau des lavoirs.

Ceux-ci sont du type Revollier. On y a cependant remplacé la chaîne à godets des schistes, par une vanne de purge, automatique, mais intermittente. Les mourres subissent de même une chasse, une fois par poste, à l'aide d'une vanne, qui les évacue dans une rigole d'entraînement.

Conditionnement. — On obtient, au moyen de ce traitement, les sortes suivantes : 1° *Mottes* ou *roches :* charbon pur et résistant, resté sur les grilles à charbon ; 2° *Grelassons :* refus des grilles à terre, débarrassé des impuretés ; 3° *Friable trié :* charbon en mottes tendre ; 4° *Terre grasse,* ou terre non criblée : tout ce qui passe à travers la grille à charbon, c'est-à-dire un mélange de grelassons et de terres fines ; 5° *Friable tout-venant :* charbon tendre, tel qu'il sort de la mine, c'est-à-dire mélange de mottes, de grêles et de terre ; 6° *Terre fine,* ou terre criblée : tout ce qui passe sous la grille à terre ; 7° *Restoubles :* combustible nerveux, composé de lamelles de charbon, d'argile, schiste ou calcaire, employé pour la cuisson de la chaux ; 8° *Poussiers :* tout ce qui passe sur le crible à secousses des terres fines destinées aux lavoirs ; 9° *Schistes de lavage ;* 10° *Boues de lavage ;* 11° *Croûtes :* charbon noueux très impur, employé par quelques chaufourniers, à peu de distance des mines.

Cette installation traite, en 10 heures, 800 tonnes ; mais elle permettrait, au besoin, de faire beaucoup plus. L'indépendance

de ses divers éléments lui donne une sorte d'élasticité, indispensable en raison des variations fréquentes, qui se produisent dans la nature du tout-venant, lorsque l'on se voit subitement obligé, dans la mine, de reporter les ouvriers d'un point sur un autre, en raison des invasions d'eau produites par les mouillères.

1388 — *Mines d'anthracite de Pennsylvanie* (1). — Ce combustible, de très bonne nature, diffère complètement de nos houilles, par la difficulté que l'on éprouve à effectuer sa combustion, si le rapport de sa surface d'incandescence à la masse froide intérieure excède certaines limites. En un mot, il réclame le broyage du gros, tandis que l'on s'attache autant que possible,

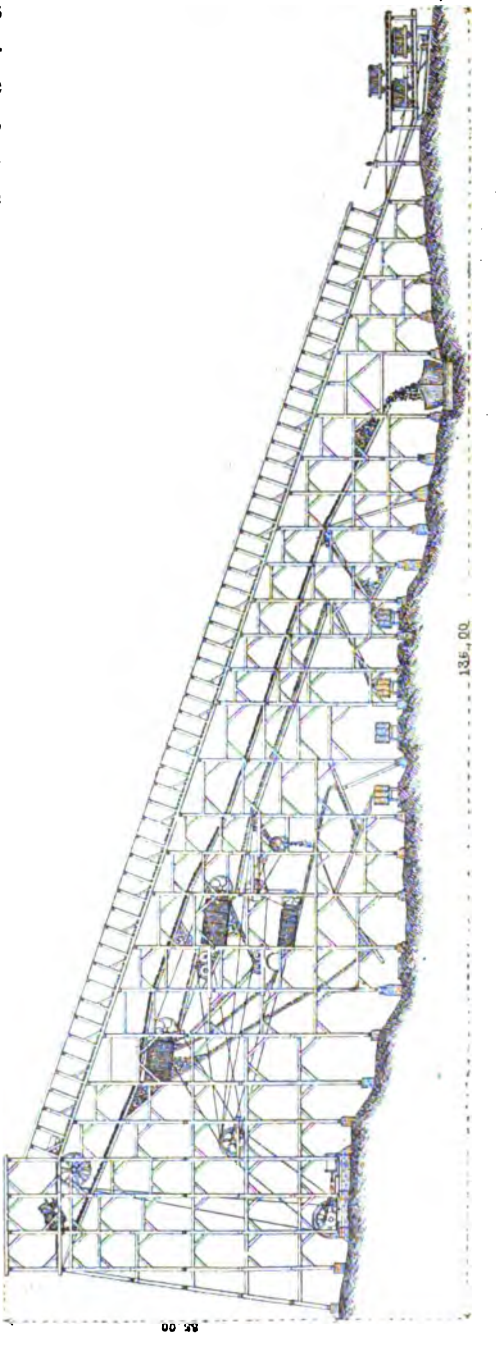


Fig. 831. Breaker de Pennsylvanie.

(1) Sauvage (*Annales*, 7e, VII, 231). — Malézieux (*Rapport de mission aux États-Unis*). — *Engineering*, 22 février et 11 avril 1884.

dans les houillères, à favoriser la production de cette sorte. En même temps, un classement par volume est indispensable, pour que les morceaux soient à peu près d'égale grosseur, et que les petits ne viennent pas boucher les interstices des gros.

Le *breaker* est une immense charpente (fig. 831) au sommet de laquelle se rend le combustible, soit directement, sous l'empire de la machine d'extraction, soit, quand la hauteur devient trop grande, à l'aide d'un monte-charge spécial. A partir de ce sommet, il redescend par son propre poids, en traversant automatiquement toute la série des appareils.

Ceux-ci consistent en une succession, plus ou moins complexe, de cylindres dentelés (fig. 754) pour le broyage, de grilles et de trommels à eau pour le classement, et de glissières de klaubage pour le triage des pierres. On y joint un lavage sommaire, au crible Plumb. La dureté spéciale de ce genre de combustible lui permet de supporter d'aussi longs frottements. On obtient les sortes suivantes:

Lump coal (gros morceaux), refus de. . . .	102 millimètres.
Steamboat coal (charbon de bateau à vapeur).	76
Broken coal (charbon cassé).	70 ou 65
Egg coal (charbon en œufs).	51
Large stove coal (gros charbon de poêle) . .	45
Small stove coal (petit charbon de poêle) . .	32 ou 28 ou 25
Chesnut coal (charbon en châtaignes). . . .	19 ou 16
Pea coal (charbon en pois)	13
Buckweat coal (charbon en grains de sarrasin).	9,5

Ce dernier ne se vend pas. Il est brûlé par les mines pour leurs chaudières. Quant à la poussière, elle est inutilisable, car elle boucherait les passages de l'air dans les foyers, et, d'un autre côté, elle ne se prête pas à la fabrication du coke.

Les fraits *directs* de préparation sont de 1 fr. 386, indépendamment de la portion afférente dans les frais généraux [1].

[1] Le détail en a été présenté ci-dessus (tome I, p. 593). En le réduisant de la tonne de 1016 kilogrammes à la tonne métrique, il n'est plus que de 1 fr. 364.

§ 3

EXEMPLES — MATIÈRES PIERREUSES

1389 — *Diamants de l'Afrique australe* ([1]). — Cette forme du carbone, si différente des précédentes au point de vue minéralogique, ne l'est pas moins sous le rapport économique, puisque au lieu d'une matière de peu de valeur, dénuée de gangue, et traitée en grandes masses, on se trouve en présence d'une substance dont les moindres parcelles méritent, par leur grand prix, d'être patiemment recherchées, au milieu d'une quantité considérable de matériaux stériles.

Les minerais serpentineux extraits, comme nous l'avons vu ci-dessus ([2]), du fond de la fosse, étaient, dans l'origine, brisés à coups de maillet. On s'est aperçu plus tard qu'une simple exposition à l'air suffisait pour produire la désagrégation, en évitant cette coûteuse opération. La superficie affectée à cette préparation porte le nom de *floor*; et la difficulté de se la procurer n'est pas une des moindres que rencontre cette bizarre exploitation. Certains floors se trouvent à près de 2 kilomètres de l'excavation, avec laquelle ils ne communiquent que par des routes fort mal entretenues.

La matière recueillie sur le floor, doit être transformée en une boue suffisamment liquide, pour que le classement puisse s'y opérer, en raison de la densité prépondérante 3,50 du diamant, qui lui fait gagner le fond. Le mélange avec l'eau s'opère dans un bac en bois, où les nègres agitent les terres avec des râteaux. La boue tombe de là dans un débourbeur annulaire, que parcourent circulairement d'autres râteaux, mus à force de bras, à l'aide de manivelles et de roues dentées. Le trop plein s'échappe par une échancrure. On lave les pierres à grande eau, et elles sont triées minutieusement.

Ces installations primitives commencent à se transformer. Le minerai arrive maintenant du floor, dans des bennes en tôle, sur une

([1]) Maurice Chaper. La région diamantifère de l'Afrique australe, 1880. Paris, 90.
([2]) Tome I, p. 624.

voie ferrée volante. Les chariots sont élevés par un monte-charge, et déversés dans une trémie, dont le débit est surveillé par un homme. La matière sèche tombe dans un trommel de 0m,0200 de maille; 2m,50 de longueur; 0,10 de pente. Un caniveau en zinc, percé de trous, y distribue une pluie abondante. Les cailloux lavés qui sortent par l'extrémité, sont triés par un ouvrier de race blanche, et portés par des nègres sur les places de dépôt. Les matières qui ont traversé le treillis sont conduites, au moyen d'un canal ouvert, à un débourbeur annulaire analogue au précédent. La boue légère qui s'en échappe en déversoir, tombe dans un nouveau trommel de 0m,0125 de maille; 1m,80 de long; 0,08 de pente. Les matières ténues qui le traversent sont repassées au débourbeur, avec addition d'eau, pour éviter l'épaississement. A la fin de la journée, on arrête l'appareil, et l'on fait écouler la plus grande partie des matières, en ne laissant au fond qu'une couche riche. On remet alors en mouvement avec de l'eau claire, et l'on dirige ce résidu dans un troisième trommel de 0m,0095 de maille; 2m,30 de long; 0,02 de pente; lequel est environné d'une enveloppe concentrique de 0m,0065 seulement. Ce système tourne à raison de 6 tours par minute. Les deux cylindres sont fermés et cadenassés. Lorsque le lavage est jugé suffisant, on en retire des sables n° 1 et n° 2, indépendamment des schlamms qui ont traversé les deux enveloppes. Ces derniers sont jetés sur un tamis métallique de 0m,0035 dont les secousses partagent ce résidu en deux grosseurs nos 3 et 4.

Le triage des sables classés est environné de grandes précautions, et s'effectue, en présence de l'un des propriétaires du claim, sur des tables de zinc, où l'on étale les matières, avec une raclette en tôle. Les diamants les plus petits se détachent d'une manière assez nette pour attirer l'attention. Mais, en dépit du contrôle le plus attentif, une grande quantité de ces pierres disparaissent par fraude, dans le cours de cette manipulation. Elles rentrent ensuite dans le commerce, par des voies détournées, malgré les complications dont la réglementation administrative a entouré la vente des diamants.

Cette manutention est singulièrement gênée par la rareté de l'eau dans la région diamantifère. On se procure ce liquide par le forage de nombreux puits, sur lesquels sont installées des pompes à bras.

On a soin d'ailleurs de relever, pour les faire servir de nouveau, toutes les eaux qu'il est possible de recueillir, et de clarifier suffisamment. Un de ces puits suffit à peine, pour traiter, par jour, une vingtaine de tonnes de minerai. En temps de sécheresse, le liquide se vend jusqu'à 2 et 3 francs l'hectolitre.

1390 — *Blanc de Meudon* (¹). — Le blanc de Meudon, improprement appelé blanc d'Espagne, est tiré de certains bancs de la craie. La matière doit être très blanche, onctueuse, friable, et sans viscosité. Il est nécessaire que les recouvrements à enlever par l'exploitation à ciel ouvert soient peu importants, en raison de la faible valeur de cette substance, et du danger de la voir salir par les couches supérieures. On ne doit d'ailleurs attaquer que des bancs d'une assez grande épaisseur, afin d'obtenir une grande constance du produit. Le rendement en blanc est d'environ 85 °/ₒ.

Un premier triage, effectué dans la carrière même, sépare les rognons de silex. Les opérations ultérieures sont destinées à enlever le sable siliceux, et des parties de calcaire dur finement disséminées. La craie passe entre des cylindres cannelés, qui l'amènent à la grosseur ordinaire du macadam. Une vis, de 25 mètres de longueur, distribue ces fragments à une série de cuves pleines d'eau, à travers des ouvertures convenablement calibrées pour que tous les débits soient égaux. Ces *délayeurs* sont traversés, suivant leur longueur, par des arbres qui portent des dents en fer disposées en hélice. La craie, rapidement saturée d'eau, se trouve ainsi désagrégée. Les sables siliceux et calcaires tombent au fond du réservoir. Un courant continu entraîne le blanc en suspension. Cette manutention exige une quantité d'eau considérable.

A la sortie de ces barboteurs, le liquide est admis dans un décanteur, pour y déposer le sable d'une extrême ténuité, dont il est encore chargé. Une série de rigoles, ménagées entre des bajoyers en maçonnerie, sont munies de hausses variables, pour régler les dépôts. Ces sables, recueillis à part, sont réservés pour certaines

(¹) Renseignements dus à l'obligeance de M. Hinstin.
La Société de l'Industrie prépare le *blanc de Meudon* à la manufacture du Bas-Meudon, et le *blanc de Troyes* à l'usine des blancs minéraux de Vaudepart (Villeloup, Aube).

applications industrielles. L'eau se rend du décanteur, par des conduits en bois, dans deux jeux de réservoirs. Un petit bassin reçoit les blancs les plus denses, la clarification s'achevant sur une seconde aire plus vaste, où se déposent des blancs absolument purs et d'une grande finesse. Pour que les dépôts deviennent de plus en plus compactes, on y introduit de grandes perches, que l'on relève successivement; ce qui facilite la remontée de l'eau à la surface. Des portes, munies de trous et de bouchons, servent à évacuer le liquide clarifié, après quoi, l'on admet une nouvelle lame d'eau blanche, jusqu'à ce que la couche atteigne un mètre d'épaisseur.

On laisse alors la matière se sécher, afin de réduire le temps et la quantité de combustible nécessaires à la dessiccation artificielle. Pour en effectuer le relevage, on ménage, dans les planchers, des trappes dont chacune dessert un carré de 5 mètres de côté. Un élévateur à ruban métallique vient desservir chacune d'elles, au moyen d'un chemin de fer aérien établi au plafond. La pâte, ainsi relevée, est chargée dans des wagonnets, et conduite aux séchoirs.

On emploie des *séchoirs à l'air*, ouverts à tous les vents[1]; et aussi des *séchoirs à vapeur*, formés de tables creuses, dans l'intérieur desquelles circule la vapeur d'échappement du moteur. Cette dessiccation approximative est complétée dans un *séchoir à air chaud*, alimenté par la chaleur perdue de la chaudière, à l'aide d'un ventilateur. On emploie également des *séchoirs à feu*, formés de dalles réfractaires, échauffées par des foyers spéciaux. Le service de ces appareils est effectué par des wagonnets, qui sont chargés de clayettes garnies de blanc. Ils circulent dans ces enceintes, sur des voies ferrées.

Les produits ainsi séchés tombent dans les poches d'un ensachoir, conduisant à des sacs posés sur une bascule. Lorsque celle-ci indique le poids de 50 kilogrammes, le sac est remplacé. Une partie de la consommation est livrée sous la forme de pains, moulés grossièrement à la main.

Le prix de revient, en supposant une fabrication annuelle de 5000 tonnes, peut s'établir de la manière suivante, par tonne de blanc :

[1] Après avoir condensé la matière au moyen d'un filtre-presse.

	Francs.	
Extraction	3,00	
Lavage	1,50	
Séchage (moyenne)	5,00	
Manutention, ensachage	1,50	
Emballage, sacs	1,00	
Frais directs	12,00	12,00
Entretien, personnel	3,50	
Intérêt du capital	5,00	
Amortissement	3,00	
Découverture	2,00	
Transport à Paris (moyenne)	3,00	
Frais indirects	16,50	16,50
TOTAL		28,50

Les blancs en pain exigent 6 francs de plus pour le moulage, mais on économise 2 francs sur le séchage. Le prix de la tonne se trouve ainsi relevé à 32 fr. 50. Les prix de vente ne laissent qu'une faible marge au bénéfice.

1891 — *Phosphates de chaux de la Meuse* (1). — Le terrain crétacé de la Meuse présente les nodules de phosphate de chaux à trois étages différents : les sables verts, le gault, et la gaize. La plupart des exploitations sont situées dans les sables verts, qui présentent notamment une couche régulière de 5 à 25 centimètres de puissance. Ces nodules sont connus dans la contrée sous le nom de *coquins*. Ils présentent l'aspect de rognons arrondis, lisses ou mamelonnés, grisâtres, ou d'un brun verdâtre, variant de la grosseur du poing à celle d'une noix. Le plus souvent, ils sont isolés dans le sable, quelquefois soudés en forme de conglomérat plus ou moins solide. La

(1) Nivoit. Notice sur le gisement et l'exploitation des phosphates de chaux fossiles dans le département de la Meuse. Bar-le-Duc, 1874, p. 31. — Barral. Prép. méc. des phosphates de la Meuse (*Bull. Soc. d'enc.*, 3e, III, 319).

densité varie de 1,80 à 2,90. La matière est poreuse, et peut absorber près de 3 % d'eau, quand elle est en fragments, et beaucoup plus encore, lorsqu'on l'a réduite en poudre fine. Sa dureté est variable, mais toujours supérieure à celle du calcaire. La friabilité augmente avec la durée de l'exposition à l'air. Les rognons sont formés de phosphate et de carbonate de chaux, de sable vert, d'argile, de minerai de fer, et d'une substance organique azotée. La teneur en acide phosphorique varie de 4 à 24 %, ce qui correspond environ à 9 ou 50 % de phosphate tribasique. L'exploitation se fait tantôt à ciel ouvert, tantôt par travaux souterrains.

Les nodules sont extraits avec une grande quantité de sable plus ou moins argileux. Pour les en séparer, on les jette d'abord sur une grille de 8 à 12 millimètres. On les débarrasse ainsi d'une partie notable de la terre, en perdant, à la vérité, les plus petits grains de phosphate. Ce déchet est moindre avec les treillis en fil de fer, qu'avec les claies à barreaux.

Ce nettoyage est complété par un lavage, exécuté avec soin dans une caisse en bois de 2 mètres de longueur sur 1 mètre de large et $0^{m},80$ de hauteur. Aux deux tiers de la profondeur, est établie une grille de 2 millimètres, sur laquelle sont jetées les matières, que l'on gâche incessamment avec des crocs recourbés. Quand l'eau est devenue épaisse, on la laisse écouler, et l'on recommence ainsi jusqu'à ce que le liquide reste clair. Deux ouvriers peuvent préparer, dans leur journée, un à deux mètres cubes de phosphorites, provenant d'un volume double ou triple de tout-venant.

Cette opération a pour résultat de combler le lit des rivières, d'empêcher le frai du poisson, et d'envaser les prairies dans les débordements. L'administration interdit ordinairement le lavage, du 15 avril au 15 octobre, et impose aux exploitants l'obligation d'épurer les eaux dans de vastes bassins, avant de les rendre à leur cours naturel. Lorsqu'on le peut, on profite des dépressions marécageuses qui bordent les cours d'eau, de manière à en relever le fond à l'aide de ces dépôts. Nous avons indiqué également (n° 1297) le procédé Baye, destiné à écarter ces inconvénients.

Quand le lavage devient impraticable, on le remplace en insistant suffisamment sur le criblage. Cette opération porte le nom de

fanage, et consiste à passer plusieurs fois les matières à la claie, en laissant, entre deux opérations, les matières se déliter à l'air, pour obtenir la désagrégation des sables argileux. Mais il reste toujours, avec cette méthode, une proportion de 10 à 15 °/₀ de matières étrangères mélangée à la substance utile.

Sur certains points, les phosphates se trouvent en bancs continus, pour lesquels échouent les divers procédés que nous venons de décrire. On a essayé, pour ce cas, le bocardage, mais il détermine de trop grandes pertes. On a tenté, sans plus de succès, la calcination. On se contente maintenant d'un scheidage au marteau, en fragments de 10 à 15 centimètres, qui sont triés à la main, et envoyés en cet état aux usines.

Dans ces établissements, les nodules sont préalablement soumis à l'action de cylindres hérissés de dents, qui les réduisent à la grosseur d'une noix. On les passe ensuite entre des meules de $1^m,60$ de diamètre, faisant 100 ou 110 tours par minute. Quelquefois même, on emploie plusieurs paires de meules, pour ramener la matière à des degrés successifs de ténuité. On aménage souvent, dans ce but, ceux des moulins à farine de la contrée qui ont le moins de clientèle. Cette pulvérisation use très vite les meules. Il faut les rhabiller toutes les semaines, et même plus fréquemment encore. En une seule campagne, une meule tournante est assez fatiguée pour devoir être transformée en meule gisante. On peut produire ainsi, dans les 24 heures, une moyenne de 75 sacs de 100 kilogrammes, avec une force de 12 à 15 chevaux. Une poussière très fine, représentant une perte de 2 °/₀, se dégage pendant le broyage, et quelques usines ont cherché à la recueillir. La pulvérisation occasionne des frais de 0 fr. 50 à 0 fr. 70 par quintal, auxquels s'ajoute une dépense de 0 fr. 55 pour la valeur du sac.

Nous indiquerons, en terminant, deux exemples de prix de revient [1], dont le premier est relatif à un mètre cube de nodules des sables verts, pesant 1500 kilogrammes, et le second à un mètre cube de 1600 kilogrammes, provenant de la gaize :

(1) Non compris la valeur des sacs.

	fr. c.	fr. c.
Indemnité de terrain.	4,00	10,00
Extraction	15,75	31,00
Transport au lavoir et au moulin	4,00	4,00
Lavage.	2,50	5,00
Pulvérisation et ensachage	9,00	10,40
Expédition.	1,75	2,50
Frais généraux	5,00	5,00
Ensemble.	42,00	67,90
Total par tonne. . . .	28,00	42,45

1392 — *Kaolins des Colettes* (¹).— Les exploitations de kaolin de la forêt domaniale des Colettes sont situées près de Gannat (Allier), à 5 kilomètres de la station de Louroux. Le terrain est formé d'une sorte de pegmatite, composée de quartz en grains moyens, hyalins, quelquefois un peu enfumés ; de feldspath albite ou orthose suivant certaines directions ; de mica abondant, blanc argentin, ou parfois d'un brun roux, avec des traces de cassitérite et d'oxyde de manganèse.

Le sol est mamelonné; le granite des sommets est resté intact; celui des parties inférieures, qui a subi plus longuement l'action des eaux, se trouve altéré à des degrés divers. La potasse a disparu progressivement, et le feldspath s'est, par cette élimination, réduit au silicate d'alumine. Cette disposition topographique est d'ailleurs avantageuse, car elle a pour résultat de concentrer les exploitations dans les parties où l'eau, qui lui est absolument indispensable, se rencontre avec le plus d'abondance. On a soin, du reste, de la recueillir après les lavages, de manière à la faire servir de nouveau. On la relève même, au besoin, avec des machines à vapeur. En revanche, cette situation dans les parties basses tend à augmenter l'épaisseur des recouvrements, qui s'y sont accumulés sous l'in-

(¹) Renseignements dus à l'obligeance de MM. Hinstin et Turpain.
Kaolins du bois des Colettes. Daubrée. *Comptes rendus de l'Académie des sciences*, LXVIII, 1135. — Boulanger. *Statistique de l'Allier*, p. 68. — Daubrée. *Études synthétiques de géologie expérimentale*, 66.

fluence de la gravité, par la dégradation des déclivités avoisinantes. Après leur dépècement, on attaque les strates kaolinifères, en grands gradins, dont la hauteur est coordonnée avec celles des divers bancs du gisement. Ces matières cèdent facilement à la pioche, tout en gardant une grande consistance sous des inclinaisons presque verticales.

On facilite l'abatage par l'action d'une chute d'eau, tombant, de la hauteur du sol, dans le fond de la tranchée. Des bâches mobiles permettent de faire arriver le liquide sur le point voulu. Cette eau s'écoule, avec les matières désagrégées, dans des rigoles à pente rapide, où un homme les agite à l'aide d'un râteau. Les gros sables de quartz et de feldspath se déposent, ainsi que les micas les plus importants. Le courant entraîne le kaolin avec le mica le plus fin. Après ce débourbage, on vide, à la pelle, les rigoles encombrées, et l'on rejette les sables dans des wagonnets. Un chantier de ce genre porte le nom de *lavage*.

Les eaux des différents lavages d'une même tranchée se rendent dans un puisard unique, d'où elles sont relevées, au besoin, par des pompes à vapeur, jusqu'aux *établissements*. Le liquide, chargé d'environ 3 °/₀ de kaolin et de mica fin, arrive à un décanteur, qui comprend, en premier lieu, un labyrinthe, destiné à briser la vitesse acquise du courant; et, à la suite, des rigoles étagées, de 5 mètres environ de longueur, formant un total de 30 à 40 mètres, suivant la nature des matières. Chacun de ces gradins est séparé du suivant par une vanne à hauteur variable, qui a pour but de retenir les micas. Ceux-ci se déposent sur le fond, tandis que l'ouvrier agite légèrement la partie supérieure du dépôt. L'eau kaolineuse se rend dans de grands bassins de dépôt, appelés *pits*, comme sur les exploitations similaires du Cornwall. Les revêtements sont construits en pierre et en mousse, sans mortier, afin d'éviter la réaction de la chaux sur le silicate d'alumine. On pilonne, entre deux parois, du sable quartzeux, qui devient très dur. L'eau clarifiée est perdue, ou fait retour aux lavages, suivant les conditions topographiques et sa plus ou moins grande abondance.

Dans le pit, le kaolin prend une consistance épaisse, et arrive à ne renfermer que 40 °/₀ d'eau. On vide ce bassin, à l'aide d'une

bonde, dans de nouveaux réservoirs qui alimentent les séchoirs à feu, où la matière est amenée au degré de siccité convenable pour le commerce. On emploie également des séchoirs à air, qui suffisent en été, après passage sur des sables filtrants. On obtient ainsi un produit de première qualité, nettement débarrassé du mica.

Une catégorie inférieure provient des dépôts recueillis dans le fond des rigoles du décanteur, où le mica a retenu une grande quantité de kaolin, que l'on n'a pas cherché à en dégager, de peur d'entraîner des lamelles micacées. On reprend ces matières à part, en les évacuant dans de nouvelles rigoles. Elles y sont lavées à grande eau, et ce courant abondant va ensuite se clarifier dans un décanteur semblable au précédent, d'où l'on retire un kaolin n° 2, renfermant une petite proportion de mica très fin.

Un produit de troisième ordre est encore retiré du lavage des micas du second décanteur. Quant aux dépôts de ce troisième réseau, ils sont formés de mica à peu près pur, et rejetés.

On obtient, en dernière analyse, des kaolins *blancs* nos 1 et 2 de la Grande-Tranchée, des Bassins, du Pont, du Puits Juilliat, et de la Fonds-Moulin; des kaolins *roses* nos 1 et 2 de la tranchée du Bosc, et de la Grande-Tranchée; des kaolins *jaunes* nos 1 et 2 des Bassins et du Pont; un kaolin n° 3 de toutes les tranchées réunies; et enfin un rebut, formé des micas des établissements, et des sables des lavages. Ce conditionnement détaillé permet l'appropriation précise des matières à des industries très variées.

La Compagnie de l'Industrie produit de 20000 à 25000 tonnes par an. Une tonne de kaolin exige l'abatage, la séparation et l'enlèvement de 3 mètres cubes environ, ou 6 tonnes de roche, et l'écoulement de 35 mètres cubes d'eau. La grandeur de ces chiffres indique assez jusqu'à quel point une étude minutieuse des dispositifs d'ensemble et des détails pratiques de la manipulation, s'impose à l'attention de l'exploitant.

Pour établir le prix de revient, nous prendrons comme exemple une tranchée capable de fournir journellement 10 tonnes de kaolin. L'abatage des 30 mètres cubes de roche correspondants, et les opérations subséquentes, emploieront en moyenne:

Abatage.	8 hommes.
Lavage (4 rigoles)	4 —
Sortie des sables.	8 —
Décantage.	1 —
Pit.	1 —
Vannes	1 —
Relavage des micas.	4 —
	27 hommes.

En fixant le prix de la journée à 3 francs, la main-d'œuvre directe ressort à 81 francs, soit 8 fr. 10 par tonne. Elle se combine, en outre, avec les éléments suivants :

	fr. c.
Main-d'œuvre directe	8,10
Machine de 12 chevaux (main-d'œuvre et charbon). .	2,40
Séchage à forfait (3 fr. à l'air; 5 fr. au feu).	4,00
Frais de découverture.	2,00
Transport des sables	1,75
Matériel, constructions, voies de communication. . .	3,00
Frais généraux.	3,00
Intérêt du capital et amortissement	8,35
Commission, escompte, transports immédiats	5,00
	37,60

Pour arriver à ces conditions rémunératrices, un long apprentissage a été nécessaire, et les Sociétés précédentes ont dépensé des capitaux considérables, dont on pourrait virtuellement grever le prix de revient, s'il n'était plus instructif de l'envisager, au contraire, dans son état actuel. Les fausses manœuvres se répercutent, en effet, sur les résultats économiques, avec un gros coefficient. Nous avons déjà fait remarquer que l'on opère sur des masses considérables; il est, en outre, nécessaire d'employer des fronts de taille très développés, et des gradins élevés, afin d'avoir un bon triage et un produit moyen bien constant. On doit conserver des surfaces planes étendues, au pied des tranchées, pour installer les

lavages, obstrués en partie par les massifs laissés en place. De larges découverts doivent être préparés à l'avance, et convenablement défendus, pour empêcher les eaux sauvages de salir, et de détériorer le kaolin en place. En revanche, l'installation des Colettes se présente dans des conditions particulièrement favorables, par sa grande étendue, l'importance des masses kaolinisées, leur pureté et leur rendement.

§ 4

EXEMPLES — MINERAIS MÉTALLIQUES

1393 — *Minerais de fer de Wassy* (1). — Les minerais de fer géodiques situés dans la partie inférieure du terrain néocomien de l'arrondissement de Wassy (Haute-Marne), sont parfois compacts et terreux, mais, le plus souvent, disposés en plaquettes cloisonnées, qui forment des géodes remplies de sable et d'argile. Dans d'autres cas, ces géodes sont ovoïdes, et formées de couches concentriques, autour d'un noyau argilo-sableux. La dureté est très variable. Le poids du mètre cube brut atteint 1350 kilogrammes en moyenne, et 1550 kilogrammes, après une préparation qui le réduit à 45 °/₀ en volume. Ces minerais lavés rendent 43 °/₀ de fonte dans le haut fourneau, tandis qu'ils ne donneraient que 22,36 °/₀ à l'état naturel.

Les installations complètes de la Haute-Marne comprennent ordinairement une prise d'eau, un moteur, un bocard, un patouillet, une drague pour remonter le minerai lavé, et des bassins de clarification. La description suivante pourra en donner une idée générale.

Un atelier destiné à passer environ 25 mètres cubes, en 10 heures, emploie, dans le même temps, un volume d'eau de 600 mètres cubes. Généralement le lavage n'a lieu que pendant les quatre mois d'hiver, afin de pouvoir éviter l'usage des bassins d'épuration.

(1) Salzard. Description et projet d'un atelier de lavage de minerai de fer (*Annales*, 7e, VIII, 318).

De Hennezel. Prép. méc. des min. de fer de la Meuse et des Ardennes (*Annales*, 3e, XV, 85). — Drouot. Lavage du minerai de fer d'alluvion de l'arrondissement d'Avesnes (*Annales*, 3e, XX, 497). — Dormoy. Notice sur un lavoir à mine portatif du système Dufournel (*Annales*, 6e, VI, 203). — Austruy. Lavoir débourbeur installé à la forge de Cuzorn, 1878.

Dans ce cas, on fonctionne nuit et jour d'une manière continue.

Le moteur est une forte locomobile d'une quinzaine de chevaux, timbrée à 6 kilogrammes, avec 20 mètres carrés de surface de chauffe. La poulie motrice qui actionne l'atelier tourne à 80 tours. Une courroie en cuir communique le mouvement à l'arbre du bocard.

La *pile*, ou bocard, renferme 8 pilons, pesant chacun 50 kilogrammes, flèche, sabot et armature compris. Ils sont manœuvrés par un cylindre en fonte de 24 cames. Les grilles sont de 50 millimètres, du côté de l'arrivée de l'eau, et de 60 en aval.

La huche du patouillet a $4^m,50$ de longueur, et $0^m,70$ de rayon de courbure pour sa section transversale. L'arbre est en fonte, et porte 6 encoches destinées à recevoir les barreaux agitateurs. Il est actionné à l'aide d'un engrenage, ainsi que la drague. La sortie des eaux sales doit s'effectuer du côté de la pile, afin d'éviter de jeter du minerai dans la rivière, ou dans les bassins d'épuration. Sans cela, une partie de ce dernier, se trouvant soulevée par les barreaux du patouillet, s'échappe avec le courant.

Les réservoirs d'épuration sont au nombre de deux. Un premier bassin de dépôt présente une longueur du 160 mètres, sur une largeur de 30 mètres. Un bassin de clarification, qui lui fait suite, en est séparé par une digue, et se prolonge, avec la même largeur, sur un développement longitudinal de 80 mètres. L'eau, profonde de $1^m,80$, le quitte en passant sur un déversoir de 1 ou 2 mètres. Il convient d'avoir deux jeux de réservoirs, pour faciliter le curage. Cette opération est très onéreuse, et peut occasionner une dépense de 1 fr. 80 par mètre cube de minerai lavé, ou 2 fr. 75 par tonne de fonte [1].

On en est arrivé, pour ce motif, à ne plus effectuer de curage dans beaucoup de cas. On loue des terrains suffisamment étendus, quand la configuration du sol s'y prête, et l'on relève, avec des norias, les eaux aussi haut que possible. Les dépôts surexhaussent alors les emplacements d'une manière progressive.

[1] Ces terrains sont plus tard rendus à la culture, mais seulement lorsque plusieurs années de sécheresse ont consolidé la masse, et après que l'on en a vérifié la résistance, avant d'y engager des chevaux.

Le devis d'une semblable installation, varie nécessairement avec les circonstances. On en peut cependant donner une approximation par le tableau suivant :

	francs.
Prise d'eau	1 600
Locomobile et pompe	13 000
Courroies	500
Bocard	900
Terrassements, maçonnerie, mécanisme	9 000
Bassins d'épuration	6 000
Terrains	12 000
Parcs à minerai	2 000
Dépenses diverses	1 000
Total	46 000

1394 — *Minerais de zinc (calaminaires) de Welkenraedt* [1]. — L'atelier de Welkenraedt, qui appartient à la Société de la Vieille-Montagne, traite un mélange intime de galène, de blende et de pyrite, dans une de ses sections, et, dans l'autre, des minerais calaminaires, à gangue très argileuse. Nous ne nous occuperons ici que de cette dernière division.

La calamine n'est pas mélangée à la roche, ce qui dispense de tout broyage. La formule du traitement se réduit donc au classement et à l'enrichissement.

Une première séparation s'effectue dans l'intérieur de la mine, et fournit deux sortes distinctes : le gros et le menu.

Le gros est simplement trié à la main, sans cassage. Ce klaubage donne de la calamine et du stérile, sans matière mixte, puisqu'il n'y a pas de mélange des deux substances.

Les menus sont versés sur une grille de 60 millimètres, avec un fort courant d'eau. Le refus subit un triage semblable au précédent.

Ce qui traverse se rend à un trommel débourbeur, garni, à son intérieur, d'hélices à contre-sens du fil de l'eau, avec des baguettes

[1] Henry, *Annales*, 6e, XIX, 381.

longitudinales, destinées à briser les boules d'argile. Il est suivi d'une autre travée à double enveloppe, dont les trous ont 5 et 25 millimètres de diamètre. Le refus supérieur à 25 millimètres tombe sur une table de klaubage, où il est trié comme les précédents.

La sorte intermédiaire entre 5 et 25 passe dans un trommel classeur, qui la répartit en cinq catégories, d'après les diamètres de 7, 10, 15, 19 millimètres. Les trois moindres sont traitées sur des cribles continus du type de Moresnet (nº 1328) ; les deux sortes supérieures, sur des cribles à piston ordinaires.

La matière inférieure à 5 millimètres tombe dans un appareil à courant ascendant, appelé *schlammpeter*, et assez analogue au classeur Dor (nº 1334). La partie entraînée est inférieure à 1 millimètre. L'autre portion se rend dans un trommel, qui fait quatre sortes distinctes, d'après les diamètres de 12, 27, 37 dix-millimètres. Les trois plus grosses catégories sont passées aux cribles ordinaires à piston. La plus fine est versée dans une série de six caisses pointues à courant ascendant (nº 1342).

Les trois premiers dépôts, traités au crible continu, donnent trois natures de produits : calamine, mélangés, stériles. Les mélangés repassent au même appareil, sans qu'il soit, pour cela, nécessaire, ainsi qu'il vient d'être dit, de les dénaturer préalablement par le broyage, conformément aux principes généraux. La quatrième et la cinquième sorte subissent, sur les tables de Rittinger (nº 1368), une subdivision analogue, avec repassage des mélangés. Enfin, les boues de la sixième caisse, se réunissant avec l'entraînement du schlammpeter inférieur à 1 millimètre, s'engagent dans le labyrinthe (nº 1360). On les y reprend, pour les passer également aux tables de Rittinger, de manière à les séparer finalement en calamine et stérile rejeté.

1395 — *Minerais de zinc* (*blendeux*) *d'Ammeberg* [1]. — La mine

[1] Oppermann. Note sur la prép. méc. des min. de zinc à Ammeberg (*Annales*, 7e, XI, 261).

Callon. Exploitation de la calamine en Haute-Silésie (*Annales*, 3e, XVII). — Delesse. Prép. méc. de la calamine et de la galène en Haute-Silésie (*Annales*, 4e, IV ; VI). — Henry et Zeiller. Prép. méc. des min. de plomb et de zinc en Belgique et dans la Prusse rhénane (*Annales*, 6e, XIX, 294). — Grateau. Mémoire sur la prép. méc. des

de blende d'Ammeberg est située près de Duskersand (Suède), et appartient à la Société de la Vieille-Montagne. Le minerai, intercalé dans des gneiss schisteux, se présente lui-même comme une modification de ces schistes. Il est constitué par un mélange très compact de grains excessivement fins de feldspath, de quartz et de blende. On atteint 40 °/₀ de zinc, et exceptionnellement 50 °/₀. Quand la teneur s'abaisse au-dessous de 20 °/₀, elle n'est plus rémunératrice. La blende est ordinairement accompagnée d'un peu de galène.

Après un scheidage approximatif opéré dans la mine, pour enlever environ un tiers de stérile, on procède à un travail plus soigné sur le carreau du puits Vilain XIV. Les culbuteurs versent le *minerai pauvre* à un concasseur américain, qui l'amène à la grosseur du poing. Une grille sépare les menus, qui vont à la laverie. Le refus passe au scheidage, sur des tables tournantes, et l'on sépare 10 à 20 °/₀ de stériles, qui sont portés sur les haldes. Le reste est traité dans les fours à *étonner*.

D'autres culbuteurs versent le *minerai en roche* sur une grille, qui le sépare en gros, trié à la main, et en menus. Ceux-ci passent à un concasseur, d'où ils tombent sur une roue élévatoire, formée d'une tôle à trous de 18 millimètres. Le fin est dirigé vers la laverie, avec les menus du minerai pauvre. Le refus, débourbé à l'eau chaude, sous des pommes d'arrosoir, est répandu sur une aire de klaubage, où l'on sépare environ 15 °/₀ de stériles.

Le travail précédent fournit donc : 1° des minerais en roche riches, qui vont directement aux fonderies; 2° et 3° des menus riches ou pauvres; 4° du minerai en roche pauvre, que l'on étonne, pour en faciliter le broyage. A cet effet, on le passe, avec 1/2 °/₀ de houille menue, dans des fours à cuve continus.

Un des points caractéristiques du traitement d'Ammeberg est la pulvérisation générale qui précède le lavage, où les plus gros grains n'excèdent pas 2 millimètres. Les matières passent à des

min. de plomb et de zinc à Immenkeppel, Prusse rhénane (*Bull. min.*, 1re, II, 504). — Dupont et Guchant. Guide de la prép. méc. des min. de plomb et de zinc de Belgique (*Rev. univ. d. m. et u.*, 2e, I, 11, 275).

cylindres, de $1^{m},20$ de diamètre, et très légèrement coniques, qui, avec une force de 30 chevaux, traitent, chaque jour, 50 tonnes de menus bruts, et 75 tonnes de minerai étonné. Le reste tombe dans un trommel à double enveloppe, fonctionnant comme élévateur. La tôle perforée intérieure, de 6 millimètres, remonte son propre refus jusqu'à un plan incliné, qui le ramène au cylindre. L'enveloppe extérieure, en tôle pleine, relève les sables jusqu'à une glissière supérieure, qui les donne à un second pulvérisateur semblable, muni d'un trommel à trous de 2 millimètres.

Au débouché de cet appareil, les matières passent aux spitzkasten à courant ascendant (n° 1342). On sépare ainsi 20 °/₀ de grenailles de 1 à 2 millimètres, 43 °/₀ de sables inférieurs à 1 millimètre, et 37 °/₀ de schlamms.

Pour préparer les grenailles en vue du criblage à la cuve, on leur fait subir, à l'aide de trommels, un classement rigoureux de grosseur, suivant les calibres :

$0^{m},00200$ $0^{m},00150$ $0^{m},00125$ $0^{m},00100$.

Les quatre premiers refus passent aux cribles à piston du type Utch ; les sables de 1 millimètre, aux cribles du Hartz, auxquels on imprime, par minute, 180 à 200 pulsations de 5 à 9 millimètres. On fait cinq sortes : blende plombifère, blende riche, mélange riche, mélange pauvre, stérile. La blende plombifère elle-même donne, sur d'autres cribles du Hartz, trois produits : galène, mélange de galène et blende, enfin blende riche que l'on réunit à la catégorie précédente du même nom. Le mélange est repassé au même appareil. On traite 30 tonnes par jour sur 11 cribles, dont 7 pour les matières brutes, 1 pour la blende plombifère, 2 pour les mélanges riches, et 1 pour les mélanges pauvres. La teneur des blendes riches ne doit pas être inférieure à 42 °/₀ de zinc ; celle des stériles n'excède pas 13 °/₀. Les mélanges sont rebroyés au pulvérisateur Schwartzmann. Les résultats, triés par des trommels, sont traités sur des cribles Utch, des cribles du Hartz, et des tables tournantes.

Quant aux schlamms, ils passent sur 5 spitzkasten à courant

ascendant, 2 spitzlutte, et vont enfin au labyrinthe. On termine leur traitement sur des tables tournantes, qui donnent quatre sortes : 1° blende plombifère, 2° blende riche, 3° mélange, 4° stérile; et enfin sur des tables de Rittinger (n° 1368), où l'on obtient trois catégories : 1° galène, 2° mélange de galène et blende; 3° blende. Les mélanges repassent successivement, jusqu'à ce qu'ils se résolvent dans les deux sortes extrêmes.

Les frais de broyage se montent à 1 fr. 10 par tonne de minerai broyé, et ceux de lavage à 18 francs par tonne de blende.

1396 — *Minerais de plomb argentifères de Vialas* [1]. — On com-

[1] Renseignements dus à l'obligeance de M. l'ingénieur en chef des mines Parran (Voy. tome I, p. 596).

Levallois. Mémoire sur la prép. méc. de Vialas et Villefort (*Annales*, 1re, IV, 719, 753). — Lan. Histoire et description des mines et fonderies de la Lozère, prép. méc. de Vialas (*Annales*, 5e, VII, 363). — Rivot. Mémoires sur les filons de galène argentifère de Vialas (*Annales*, 6e, IV, 309, 379). — Hippolyte Garnier. Pertes en plomb et en argent dans le lavage des galènes argentifères de Vialas (*CRM*, 1880, 248). — *Notice sur la Société anonyme des mines de Villefort, du Rouvergue et de Comberedonde*, 1878, Alais, p. 34.

Rivot et Zeppenfeld. Prép. méc. des min. de plomb argentifère de Pontgibaud (*Annales*, 4e, XVIII, 137, 361). — Nailly. Notice sur la prép. méc. du min. de plomb de Huelgoat (*Annales*, 2e, VII). — Beaunier et Gallois. Exposé de la prép. des min. à Poullaouen (*Journal des mines*, tome XVI). — Berthier. Résultats de la prép. méc. de la galène à la mine de Pezey (*Annales*, 1re, III, 549). — Prép. méc. de la galène argentifère au Kef-oum-theboul (Fournet, *Bull. min.*, 1re, III, 51, 372). — Busquet et Renodier, IX, 519). — Coignet. Prép. méc. de la Meuse et de la Prusse rhénane (*Bull. min.*, 1re, VI, 117, 472). — Prép. méc. des min. de plomb de Lintorf, Prusse rhénane (*Engineering*, 20 septembre 1881, 329. — Héron de Villefosse. Traité sur la prép. des min. de plomb du Hartz (*Journal des mines*, tome XVII), — De Hennezel. Notice sur la prép. méc. des min. de plomb au Hartz (*Annales*, 4e, IV, 389). — Rivot. Prép. méc. des min. dans l'Oberhartz (*Annales*, 4e, XIX, 463, 515). — Matrot. Prép. méc. de la galène argentifère dans l'Oberhartz (*Annales*, 6e, XII, 319). — Ateliers de préparation de Clausthal, Hartz (*Engineering*, 1876, 35, 65, 102, 167, 210, 303, 356). — Daubuisson. Description raisonnée de la prép. des min. en Saxe (*Journal des mines*, tomes XII, XIII). — Henry. Mémoire sur la prép. méc. des min. à Przibram (*Annales*, 7e, II, 271). — Fournet. Prép. méc. des min. de plomb à Böckstein (*Annales*, 2e, IV). — Phillips. Mémoire sur le gisement, l'exploitation, la prép. méc. et la fusion des min. de plomb de Bleyberg, Carinthie (*Annales*, 4e, VIII, 239). — Pache. Prép. méc. des min. à Schemnitz, Hongrie (*Annales*, 4e, X, 595). — Rivot et Duchanoy. Voyage en Hongrie (*Annales*, 5e, III). — Dufrénoy et Élie de Beaumont. Min. de plomb du Derbyshire (*Annales*, 1re, XII). — Coste et Perdonnet. Sur le gisement, l'exploitation et la prép. méc. des min. de plomb en Angleterre (*Annales*, 2e, VII). — Moissenet. Prép. méc. des min. de plomb à Lisburne, Cardiganshire (*Annales*, 6e, IX, 1). — Habermann. Project einer completen Aufbereitungs Anlage für bleiische Wasch-Quetsch und Pochzeuge (*Berg- und Hüttenmännisches Jahrbuch*, XXVII, 96). — Habermann, Das Stefan-Wasch-Quetsch und Pochwerk in Przibram (*ibidem*, XXX, 14).

prend dans le traitement, indépendamment du minerai proprement dit, les soles battues sur le remblai des gradins renversés (n° 486), pour éviter la déperdition des menus riches. On s'est attaché, dans cette élaboration, à ne pousser les opérations que dans la mesure indispensable, de peur d'augmenter, outre mesure, les pertes sur l'argent.

Le minerai sortant de la mine est amené dans la halle de cassage, et versé sur une aire, où les gros morceaux sont réduits à la dimension du poing. Ils sont ensuite jetés sur une tôle à trous ronds de 20 millimètres, qui donne deux grandes classes : 1° gros, 2° menus (A).

Le gros est trié à la main, et fournit, dans ce klaubage, un minerai riche bon à fondre, un stérile rejeté, et deux produits intermédiaires : 1° minerai moyen, 2° minerai pauvre (B).

Le minerai moyen passe à un concasseur à mâchoires, puis à des cylindres broyeurs, et enfin à un trommel, qui le partage en deux sortes : 1° grenailles, 2° matières fines (C).

Les grenailles sont classées par grosseur dans un trommel spécial, qui donne trois produits : 1° fines grenailles, de $0^{m},00175$ à $0^{m},00600$; 2° moyennes grenailles, de $0^{m},006$ à $0^{m},015$; 3° refus, supérieur à $0^{m},015$ (D). Les deux premières catégories subissent, sans se confondre, des traitements similaires.

Ce traitement consiste à les cribler, de manière à obtenir deux sortes : 1° des grenailles riches, bonnes à fondre après pulvérisation à sec ; 2° des grenailles mixtes, qui sont broyées au bocard à la grille de $0^{m},00175$ (E).

Quant au refus D, il est trié à la main, et donne trois sortes : 1° minerai riche bon à fondre, 2° minerai moyen, 3° minerai pauvre. Ces deux derniers recommencent une série d'opérations, identique à celle que nous venons de décrire, pour les matières déjà désignées sous ces deux mêmes dénominations (voy. B).

Les menus A passent dans un débourbeur, et sont divisés en deux classes : 1° grenailles, 2° matières fines (F).

Ces grenailles sont classées, dans un trommel spécial, en quatre sortes : 1° fines grenailles, de $0^{m},0020$ à $0^{m},0065$; 2° moyennes grenailles, de $0^{m},0065$ à $0^{m},0150$; 3° grosses grenailles, de $0^{m},0150$

à 0m,0210 ; 4° refus supérieur à 0m,0210. Ce refus est entraîné par un courant d'eau jusqu'aux cylindres broyeurs. Les nouvelles grenailles vont se classer dans le trommel, qui reçoit déjà les grenailles des menus; elles rentrent avec ces dernières dans le traitement général. Quant aux trois premières sortes, elles subissent, sans se confondre, des traitements similaires.

Ce traitement consiste à les cribler, de manière à les séparer en trois produits : 1° grenailles riches, bonnes à fondre après pulvérisation à sec ; 2° stériles rejetés ; 3° matière mixte (G).

Il nous reste enfin à envisager les matières B,C,E,F,G. Ces cinq natures de produits subissent, sans se confondre, des traitements similaires, dans le classeur Dor (n° 1334), qui fournit deux sortes différentes : 1° des sables, 2° des schlamms.

Les sables sont lavés au crible du Hartz à fond filtrant (n° 1329), et donnent : 1° des sables riches à fondre, 2° des stériles rejetés, 3° des mixtes que l'on bocarde au-dessous de 0m,00075, et qu'on lave aux tables à secousses, pour en retirer un schlich bon à fondre, et un stérile rejeté.

Les schlamms sont lavés directement aux tables à secousses (n° 1365), et se résolvent en un schlamm bon à fondre, et un stérile abandonné.

Toutes les eaux boueuses traversent, avant d'être rejetées dans le torrent, un bassin d'épuration de 200 mètres carrés, et de 0m,80 de profondeur. Son déversoir présente une largeur de 7 mètres, destinée à réduire au minimum la vitesse de la nappe d'eau et la succion qu'elle exerce dans le bassin.

La proportion des divers produits est variable. La teneur moyenne de tout l'ensemble s'élevait, en 1878, à 47 °/₀ de plomb, et 422 grammes d'argent aux 100 kilogrammes de métal. Les pertes étaient évaluées à 35 °/₀ du plomb, et 15 à 16 °/₀ de l'argent contenus [1].

1397 — *Minerais de plomb et zinc argentifères de Pontpean* [2].

[1] M. de Rittinger cite un exemple dans lequel la perte totale était de 53 °/₀ de l'argent contenu (Lehrbuch der Aufbereitungskunde, 123).

[2] Renseignements dus à l'obligeance de M. Éloy (Voy. tome I, p. 593). Mémoire sur le min. de plomb et de zinc de Pontpean (*Bull. min.*, 1re, VIII, 585).—Si-

— Ce minerai est un mélange de galène, de blende et de pyrite, avec gangue de diorite, quartz, schiste-quartzeux, et argile très adhérente. La galène et la blende sont seules argentifères; la pyrite ne renferme pas de métal précieux.

Le tout-venant est pesé à la sortie du puits. On en prélève environ 4 % pour la prise d'essai, et le reste passe au débourbage. Les morceaux supérieurs à 65 ou 70 millimètres sont mis à part, et simplement arrosés. Ils subissent un klaubage, qui les sépare en deux classes. L'une va au scheidage; l'autre, composée des blocs les plus mélangés, est livrée au concasseur américain. Le reste du tout-venant se rend à un trommel débourbeur (nº 1296), composé d'une travée cylindrique à poignards, d'un tronc de cône à hélice, et d'un cylindre à trous de 21 millimètres. Son refus va au triage.

On a soin de saisir, à leur sortie de ce trommel, les mottes de glaise, pour les empêcher de salir la table de triage. On rejette celles qui sont stériles; les autres sont séchées, et débourbées à part.

Ce triage, ainsi que le scheidage des gros morceaux, donne les catégories suivantes: 1° galène marchande, de 45 à 60 % de plomb [1]; 2° blende marchande; 3° pyrite marchande [2]; 4° mélange de galène et de stérile, destiné au concasseur et aux broyeurs nºs 1 et 3 (Voy. plus loin); 5° mélange de galène, blende, pyrite, et stérile, envoyé au concasseur nº 2; 6° stérile rejeté.

Les matières inférieures à 21 millimètres, qui ont traversé le cylindre débourbeur, avec toutes les eaux sales du débourbage, passent à deux trommels classeurs successifs (nº 1302). Le premier procède par refus, et donne cinq classes de grenailles, de 21 à 17, à 13, à 9, à 6 et à 4 millimètres. Le suivant est immergé sur une partie de sa section, et fournit quatre classes de sables, de 4 à 3, à 2, à 1 millimètres, et au-dessous. Enfin les schlamms sont recueillis dans un bassin de dépôt.

Avant de nous engager dans la description de leur traitement,

monnet. Appareils de classement des min. de plomb et de zinc de Pontpean (*Bull. min.*, 2ᵉ, VI, 755).

[1] Si elle est notablement argentifère et très mélangée, il est avantageux de la retirer à 45 %.

[2] Ces deux sortes ne sont qu'accidentelles.

commençons par énumérer les appareils de broyage et de lavage sur lesquels s'effectuent les opérations.

En ce qui concerne le broyage, outre le concasseur à mâchoires dont nous avons parlé, on emploie trois trains de cylindres, et des meules. Le train n° 1 comprend des cylindres de $0^m,50$ de diamètre, à engrenages, faisant 12 tours par minute, et maintenus par des poids variables. Les matières tombent dans un blutoir à trous carrés de 7 millimètres, dont le refus, relevé par une roue, repasse entre les mêmes cylindres. Le reste est séparé par un classeur en six catégories, de 7 à 5, à 4, à 3, à 2, à 1 millimètres, et au-dessous, avec un bassin à schlamms. — Les cylindres n° 2 ont $0^m,60$ de diamètre; ils sont à ressorts de caoutchouc, et font 40 tours, avec une commande par courroie. Ils sont, ainsi que les suivants, associés à un classeur identique à celui dont nous venons de parler. — Le train n° 3 fait 12 tours, avec des diamètres de $0^m,60$. Le mouvement est communiqué par des engrenages. — Les meules sont suivies d'un classeur, en partie immergé, et d'un bassin à schlamms. On en obtient quatre sortes de sables : au-dessus de 3 millimètres; entre 3 et 2; 2 et 1; et au-dessous de 1 millimètre.

Le matériel de lavage comprend : 1° *pour les grenailles :* 26 cribles mécaniques en bois, à tamis mobiles, actionnés par des cames; et 7 cribles fixes, dont 2 discontinus en fonte, à piston latéral mû par un excentrique variable, et 2 par coulisse différentielle, 2 autres accouplés et continus, à orifices de sortie étagés et variables avec déversoirs, enfin 1 dernier bac à 2 tamis, continu, en bois, à pistons latéraux mus par des cames. — 2° *Pour les sables :* 29 cribles mobiles à bras, en bois, travaillant sur fond de tamis à sole filtrante, et 2 cribles du Hartz, l'un en bois à 2 tamis, actionné par des cames, et l'autre en fonte à 4 tamis, commandé par des excentriques variables. — 3° *Pour les sables fins et les schlamms :* 3 tables dormantes, 12 round-buddles, et 3 tables à secousses. — On installe, pour compléter cet ensemble, deux séries : l'une de cribles continus à 4 tamis pour grenailles, qui remplaceront les cribles à tamis mobiles; l'autre de cribles du Hartz à 4 tamis.

Les trois plus grosses sortes du classeur par refus (12 à 17, à 13, à 9 millimètres) vont aux cribles mécaniques en bois, à tamis

mobiles mus par des cames. — Les grenailles de 9 à 6, aux cribles fixes accouplés continus; de 6 à 4, aux cribles fixes à 2 tamis continus, agissant comme dégrossisseurs pour éliminer rapidement le stérile. — Les sables du classeur immergé, de 4 à 3, à 2 et à 1 sont passés aux cribles mobiles à bras. — Les matières inférieures à 1 millimètre, ainsi que les boues des bassins de dépôt, sont dirigées vers les round-buddles. Les résultats sont les suivants.

Les trois grosses sortes de grenailles entre 21 et 9 donnent: 1° galène marchande; 2° bon mélange, passé aux cylindres n° 2; 3° mauvais mélange, envoyé au train n° 1; 4° stérile (¹) — Les grenailles 9 à 6, qui sont les plus abondantes, fournissent : 1° un mélange riche en galène, terminé sur les cribles à bras; 2° et 3° des mélanges blendeux et pyriteux, pour le broyeur n° 2; 4° un mélange très pauvre destiné aux cylindres n° 1; 5° du stérile. — Les grenailles 6 à 4 fournissent: 1° galène marchande; 2° mixte, pour le broyeur n° 2; 3° stérile.

Les gros sables de 4 à 3 et à 2 millimètres produisent: 1° galène marchande, dans la caisse; 2° galène marchande, sur le tamis; 3° et 4° des mélanges pour les broyeurs n°ˢ 1 et 2; 5° du stérile. — Les sables de 2 à 1 millimètres se subdivisent ainsi: 1° galène marchande, dans la caisse; 2° mélange, pour d'autres cribles destinés à séparer la blende et la pyrite; 3° mélange à rebroyer; 4° stérile. — Les sables inférieurs à 1 millimètre donnent, sur le round-buddle (n° 1363), trois anneaux distincts, à savoir: 1° et 2° la tête et le milieu, retraités séparément sur les mêmes appareils; 3° la ceinture, rarement stérile, et finie sur le crible du Hartz à deux tamis. Elle y fournit: de la galène marchande, des stériles, et un mélange destiné au crible du Hartz à 4 tamis.

Les schlamms donnent, avec les round-buddles, trois anneaux, que l'on repasse séparément, plusieurs fois de suite.

Après les matières fournies directement par les deux classeurs qui succèdent immédiatement au débourbeur, il nous reste à suivre,

(¹) Les *fonds de caisse* qui passent sous le tamis, sont renvoyés au débourbeur. Ils renferment toute la galène fine due à l'usure des grains; surtout lorsque, en raison de la pauvreté de la matière, on procède par chargements successifs (n° 1313), avant de retirer le bon à fondre en une seule fois.

dans ce traitement, les matières fournies par les broyeurs, et les classeurs qui leur sont annexés.

Les grenailles 7 à 5 vont aux cribles accouplés continus, et donnent : 1° un mélange riche en galène, terminé aux cribles mobiles à bras ; 2°, 3° et 4° des mélanges à repasser aux broyeurs n°s 1 et 2 ; 5° des stériles. — Les grenailles 5 à 4 fournissent, sur les cribles continus à deux tamis : 1° galène marchande ; 2° mélange à rebroyer ; 3° stérile. — Les gros sables 4 à 3 et à 2 donnent, aux cribles fixes discontinus : 1° galène marchande ; 2° mélanges pour les cylindres ou pour les meules ; 3° stérile. — Les sables de 2 à 1 et au-dessous se divisent, sur les cribles du Hartz à deux tamis, en galène, stérile, et mélange destiné au crible du Hartz à quatre caisses. Ces mêmes sables, quand ils proviennent des bons mélanges, se traitent aussi à l'aide des cribles mobiles à bras, dont le stérile imparfait est repassé aux round-buddles.

Les mélanges blendeux et pyriteux mentionnés ci dessus donnent, sur les cribles du Hartz : 1° galène impure ; 2° pyrite marchande ; 3° et 4° deux classes de pyrite blendeuse ; 5° stérile blendeux. Ces pyrites blendeuses, repassées à part, fournissent à leur tour : 1° pyrite marchande ; 2° blende marchande ; 3° stérile blendeux. Enfin les deux stériles blendeux, réunis ensemble, et traités de nouveau, finissent par se résoudre en une sorte blendeuse, et un stérile à rejeter.

Les sables des meules, supérieurs à 3 millimètres, ou compris entre 3 et 2, ou 2 et 1 millimètres, vont aux cribles à bras qui donnent de la galène et de la pyrite finies. — Les sables inférieurs à 1 millimètre passent aux round-buddles. Quant aux boues des bassins annexés aux meules, elles ne subissent plus aucun traitement, et constituent une sorte définitive, sous le nom de schlamms blendo-plombeux.

Les schlamms recueillis sur les bassins de dépôt des broyeurs, et dans les labyrinthes, passent aux round-buddles, sur lesquels ils se divisent en trois anneaux : 1° la tête, qui est ultérieurement enrichie en plomb sur de nouveaux buddles ; 2° le milieu, repassé seul sur le même appareil ; 3° la queue, envoyée à d'autres round-buddles qui donnent à leur tour : 1° une tête blendeuse et pyriteuse,

à finir sur les tables à secousses ; 2° une sorte intermédiaire, repassée sur le même appareil ; 3° un stérile.

Les escrépures superficielles des cribles mobiles à bras passent également aux round-buddles. La zone inférieure, traitée sur les tables dormantes (n° 1357), y donne : au pied, un stérile ; et, à la tête, une matière blendo-pyriteuse que l'on termine aux tables à secousses, quand elle est inférieure à 1 millimètre, ou au crible du Hartz, si elle est comprise entre 1 et 2 millimètres.

L'ensemble de ce traitement a porté, en 1883, sur une production de 41 000 tonnes de minerai brut, qui ont fourni : 5590 tonnes de galène, 1348 de blende, 1823 de pyrite, et 311 de schlamms blendo-plombeux.

La teneur de la galène ne saurait être élevée au-dessus de 55 à 60 °/₀ de métal, avec 900 à 1000 grammes d'argent par tonne de minerai. On s'exposerait, sans cela, à des pertes au lavage, qui ne seraient pas compensées par l'amélioration des frais de fusion. La blende que l'on ne peut, en raison de sa grande dissémination, retirer qu'à l'état de sable, ou de schlamms, n'atteint que 29 à 30 °/₀ de zinc, et 650 grammes d'argent par tonne de minerai. La pyrite n'est pas argentifère, ainsi que nous l'avons dit ; elle ne dépasse pas 40 à 42 °/₀ de soufre.

Le prix de revient, par tonne de minerai lavé, s'établit de la manière suivante.

TABLEAU.

DÉSIGNATIONS		MAIN-D'ŒUVRE DIRECTE	TRANSPORTS DANS L'ATELIER	TOTAL
		francs	francs	francs
Débourbeurs, classeurs		0,76	1,14	1,90
Triage		0,86	»	0,86
Scheidage		0,20	»	0,20
Broyage	Concasseur	0,13	»	0.13
	Cylindres	1,45	0,45	1,90
	Meules	0,11	0,22	0,33
Criblage	Grenailles	1,04	0,45	1,49
	Sables	2,09	1,26	3,35
Lavage	Round-buddles	0,74	1,40	2,14
	Tables dormantes	0,58	»	0,58
	Tables à secousses	0,41	»	0,41
Transports	Stériles	»	0,84	0,84
	Minerais marchands	»	0,33	0,33
Total de la manutention directe		8,37	6,09	14,46
Curage des bassins, travaux divers				0,70
Houille du moteur				2,33
Entretien (main-d'œuvre et consommations)				2,25
Surveillance				0,47
Total (¹)				20,21

(¹) On retrouve (t. I, p. 594) les éléments de ce total sous la forme suivante :

Main-d'œuvre de la préparation mécanique	15,63
Houille pour les moteurs de la préparation mécanique	2,33
Entretien (main-d'œuvre et consommations) de la préparation mécanique	2,25
Total	20,21

1398 — *Minerais de cuivre du Lac Supérieur* (¹). — Les mines

(¹) Rivot. Voyage au Lac Supérieur (*Annales*, 5ᵉ, VII, 287). — Kupfer von Lake Superior (*Œsterreichische Zeitschrift für Berg- und Hüttenwesen*, 1881, 275, 509). — Foster et Whitney. Rapport sur la géologie et la topographie d'une partie du Lac Supérieur, 1851. — Relation de ce qui s'est passé à la Nouvelle-France dans les missions des PP. de la Compagnie de Jésus depuis 1632 jusqu'à 1772. — Withney. La richesse minérale des Etats-Unis, 1854, Philadelphie.

Thibaud. Prép. méc. des min. de Chessy (*Annales*, 2ᵉ, I, 193). — Duchanoy. Mémoire sur les gisements et le traitement des min. de cuivre dans le centre de la Norwège (*Annales*, 5ᵉ, V, 196). — Lamy. Prép. méc. de la mine de plomb et cuivre argentifères de Montchonay aux Ardillats, près Beaujeu (*Bull. min.*, 1ʳᵉ, XIII, 385, 555). — F. Kuhl-

du Lac Supérieur constituent un cas absolument caractéristique, car elles exploitent, non un minerai proprement dit de cuivre, mais le métal natif. Le cuivre métallique forme, en effet, la base de ces exploitations, bien qu'il ne se trouve pas seul dans les filons, qui contiennent également des cuivres gris, pyriteux, oxydés noirs, carbonatés, silicatés, avec une gangue de calcaire, de quartz, de feldspath et de trapp emprunté à la roche encaissante. On rencontre, sur le cuivre natif, des mouches d'argent métallique adhérentes, mais sans aucune trace d'alliage des deux métaux.

Un triage préliminaire isole les masses importantes de cuivre, qui vont directement aux fonderies. Le reste, débarrassé, autant que possible, des gangues stériles à l'aide du marteau, est envoyé à l'atelier de préparation, et renferme une proportion de métal pur, qui varie entre 1,25 et 5,50 %.

On commence par une calcination, effectuée en plein air et en grands tas, pour rendre les gangues plus friables. On effectue alors le cassage au marteau, qui précède le bocardage.

Les flèches de bocard sont associées par batteries de quatre. Elles pèsent 350 kilogrammes, avec une levée de $0^m,15$ à $0^m,20$. Certaines masses cuivreuses, trop lourdes pour être entraînées par l'eau, restent dans les auges, d'où elles sont retirées périodiquement. Elles tiennent de 75 à 90 % de métal, et se rendent directement à la fonte.

Devant chaque bocard se trouve un plan incliné triangulaire, sur lequel coule la lavée. Les grenailles de cuivre s'y déposent avec les gros sables. Ces matières sont enrichies aux cribles à bras, et atteignent une teneur de 75 ou 80 %.

Les sables entraînés par l'eau arrivent aux caissons allemands de $2^m,00$ sur $0^m,40$ avec pente de 6 à 7 degrés. On y obtient des matières riches en cuivre et argentifères.

Les sables les plus fins parviennent sur des tables dormantes de $2^m,00$ de longueur au plus. On isole encore la partie riche ; après quoi, ce qui est entraîné est considéré comme trop pauvre pour devenir l'objet d'opérations ultérieures. On obtient ainsi deux sortes,

mann. Min. de cuivre de Wigsnœs, Norwège (*Bull. Soc. d'enc.*, 3ᵉ, I, 657). — Reboul. Notice sur les mines de cuivre argentifère de Baïgorry, 1880, Saint-Étienne.

en repassant les matières sur les mêmes appareils. Le plus riche atteint 40 à 52 %; le sable plus pauvre, seulement 25 à 30 %.

1399 — *Minerais de mercure d'Idria* (1). — Il y a quelques siècles, la préparation mécanique d'Idria (Carniole), consistait uniquement en un scheidage, classant grossièrement le minerai de cinabre, d'après sa richesse et sa grosseur. En 1696, on établit les premiers bocards à l'eau; mais ce principe a été abandonné en 1842, en raison de l'importance des pertes auxquelles il donnait lieu, et on l'a remplacé par une manutention à sec.

On fait, dans la mine, deux catégories : le *erz*, qui comprend les minerais riches ou moyens, et le *scheidegang*, c'est-à-dire les matières pauvres.

Les scheidegange sont jetés sur des grilles de 70 millimètres, mues par des excentriques, de manière à se pénétrer mutuellement, suivant le principe du système Briart. Au-dessous, se trouvent des plaques perforées, de 20 et de 10 millimètres.

Le plus fin tombe dans un récipient spécial. La seconde et la troisième grosseur sont reçues sur des tables sans fin, pour le triage à la main. Les plus gros morceaux vont au concasseur à mâchoires, qui les réduit à 70 millimètres, pour repasser au criblage.

Les erze sont traités sur un crible à trous ronds de 50 millimètres. Le refus est dirigé vers le concasseur, et une table tournante de klaubage. Le reste traverse un trommel de 20, de 10 et de 5 millimètres, qui donne quatre sortes. Les grains de 50 à 20 sont triés sur une table sans fin, où ils sont divisés en riches, moyens, ou pauvres. Toutes les matières supérieures à 5 millimètres, sont bocardées, ou, depuis 1881, passées à un broyeur spécial : la *feinquetsche*, pour être réduites au-dessous de ce diamètre de 5 millimètres.

En définitive, l'on obtient deux sortes de scheidegange : 1° ***stufen***, gros et pauvre, de 20 à 70 millimètres, et d'une teneur de 1/2 % de

(1) Documents relatifs à l'année 1883, extraits d'un mémoire inédit de M. l'élève-ingénieur des mines de Launay (n° 1838 de la bibliothèque de l'*École supérieure des mines*).

Notice sur la mine d'Idria (Huyot, *Annales*, 5e, V, 24).

Mémoire sur les mines et usines d'Almaden (Kuss, *Annales*, 7e, XIII, 99).

mercure ; 2° *griesen*, au-dessous de 20 millimètres, approchant de 1 °/₀ de métal. En outre, deux sortes de erze : *mittelerze* et *reicherze*, suivant le degré de richesse, qui varie entre 20 et 30 °/₀, avec un diamètre inférieur à 5 millimètres.

Les stufen sont passés au four à cuve ; les griesen, au four à réverbère ; les erze, au four continu. On a obtenu les proportions suivantes, dans le courant du dernier exercice :

DÉSIGNATIONS	MINERAI PRÉPARÉ	TENEUR	MERCURE EXTRAIT
	tonnes	centièmes	tonnes
Erze.	2 100	9,28	194,90
Griese.	19 300	0,91	175,72
Stufen.	11 200	0,51	56,64
ENSEMBLE.	32 600	1,31	427,26

Les frais de préparation ont été de 5 fr. 40 par tonne, avec un personnel total de 13 ouvriers permanents, et 60 admis temporairement dans l'atelier.

1400 — *Minerais d'étain du Cornwall* [1]. — Le minerai d'étain est tantôt compact, tantôt cristallisé. Son traitement présente de grandes difficultés, car la teneur est faible, et la matière utile finement disséminée. En même temps, les exigences de la métallurgie obligent à préparer une matière riche. Les gangues ordinaires sont le quartz, la chlorite et l'oxyde de fer. On rencontre également, comme obstacles spéciaux, la pyrite, le mispickel et le wolfram.

[1] Moissenet. Prép. méc. des min. d'étain dans le Cornwall (*Annales*, 5ᵉ, XIV, 77). — Carcanagues. Mémoire sur la prép. méc. des min. d'étain dans le Cornwall (*Annales*, 7ᵉ, XIV, 209). — Dufrénoy et Élie de Beaumont. Min. d'étain du Cornwall et du Devonshire (*Annales*, 1ʳᵉ, X, 331). — Coste et Perdonnet. Min. d'étain du Cornwall (*Annales*, 2ᵉ, VI, 3). — Boase. *Transactions* of the Royal Geol. Society of Cornwall, II, 386. — Henwood, *ibidem*, IV, 145. — De la Bèche. Report on the Geology of Cornwall, 575.
Manès. Mémoire sur les mines d'étain de Saxe (*Annales*, 1ʳᵉ, VIII).
Charleton. L'étain ; description des principales méthodes pour l'extraction, la prép. méc. et la fonte de son minerai, in-8ᵉ.

Ce dernier ne peut être industriellement séparé, sa densité étant trop rapprochée de celle de l'oxyde d'étain. Le procédé Oxland ([1]), fondé sur une attaque au carbonate de soude, a dû être abandonné.

La pyrite et le mispickel sont détruits, pendant le cours du traitement mécanique, à l'aide du grillage, opéré sur des fours à réverbère, ou mieux, dans des appareils à sole tournante. Le soufre et l'arsenic sont brûlés. Le fer et le cuivre restent à l'état d'oxydes et de sulfates. Les oxydes sont peu consistants, les sulfates sont solubles. Un lavage réussit donc à en débarrasser les produits. Le cuivre est repris par la cémentation, dans les eaux de lixiviation. On a essayé également, avant le lavage, de séparer une partie des matières ferrugineuses, à l'aide des trieuses magnétiques (n° 1370).

Quant aux gangues pierreuses, elles se séparent assez facilement, en raison de la différence de densité. Mais l'obstacle principal se trouve, à cet égard, dans la grande finesse des matières, car l'union intime des minéraux nécessite une pulvérisation générale.

Au sortir du puits, les minerais subissent, sur la halde, un cassage à la masse, pour les plus gros fragments. On tend aujourd'hui à y substituer l'emploi des appareils à mâchoires. Un scheidage lui succède. Il amène les morceaux à la grosseur du poing et fournit quatre catégories : le riche, le moyen, le stérile, et, quand il y a lieu, les minerais de cuivre.

Les matières passent alors au bocard. Cette opération est la partie la plus délicate du traitement. Ce n'est, en effet, que comme une nécessité, que l'on accepte de commencer la manutention par cette pulvérisation d'ensemble. Au moins, ne la faut-il pousser que jusqu'au point nécessaire. Il vaut mieux rester un peu en deçà, et laisser des grains imparfaits, qui seront ultérieurement séparés et ramenés au bocard, que de dépasser le degré inévitable. L'essentiel est de dégager, de sa gangue, le grain d'étain oxydé, sans le briser lui-même, car l'étain très fin est une source de difficultés. Les produits du bocardage sont de deux sortes : 1° le *crop*, formé de sables, qui s'arrêtent d'eux-mêmes dans les canaux ; 2° les *slimes*, boues fines, qui sont entraînées jusqu'aux bassins de dépôt.

([1]) *Annales*, 5e, XIV, 147.

Les crops sont attaqués avec des dégrossisseurs, destinés à écarter rapidement une grande quantité de matières stériles, ou nettement pauvres. On augmente ensuite progressivement les soins et les manipulations, à mesure que l'on arrive à des produits plus riches. On emploie, à cet effet, des canaux, des caissons, des round-buddles, des cuves. Les canaux donnent une tête, un milieu et une queue formée de sables pauvres, ou *roughs*. Les round-buddles fournissent des sables de caisson et des roughs. La cuve donne des écumes, qui se joignent aux slimes, et un fond, ou *bottom*, pour les caissons allemands. Ces derniers appareils jouent le rôle de dégrossisseurs ou de finisseurs, suivant la nature des sortes que l'on y passe.

Les roughs sont séparés en plusieurs classes de richesse, que l'on passe séparément sur des canaux, ou *stripes*, pour y recueillir leurs parties lourdes. Un *box*, ou approfondissement brusque, en déterminant le ralentissement de l'eau, achève la précipitation de toute la partie sableuse. Il ne reste en suspension que des slimes. Une partie de ces sables, désignée sous le nom de *crazes*, renferme les grains sur lesquels l'action séparatrice du bocard ne s'est qu'imparfaitement exercée. Ils retournent au broyage, et recommencent la série du traitement.

Les slimes comprennent les sables les plus fins, et arrivent à des matières absolument impalpables. On les classe à l'aide de caissons, de cuves et de tables dormantes. On en tire des boues riches, des boues pauvres, et des roughs qui rentrent dans le traitement.

C'est alors qu'intervient le grillage. Les matières subissent ensuite un second lavage. Certaines sortes d'un trop gros diamètre, séparées par un tamisage, sont pulvérisées entre des meules, et subissent alors un second grillage. On termine enfin à l'aide des cuves inclinées. Les produits sont appelés, suivant leur grosseur, *crop tin* ou *small tin*. Le mélange de ces deux sortes est livré au commerce, sous le nom de *black tin*.

Il faut, en général, dans le Cornwall, 30 tonnes de minerai de bocard, pour en obtenir une de black tin. Cette matière renferme elle-même environ 73 % d'étain métallique.

Les frais s'établissent proportionnellement de la manière suivante [1] :

Cassage	16
Bocardage	27
Main-d'œuvre avant le grillage	30
Grillage	6
Main-d'œuvre après le grillage	3
Surveillance, essais	8
Frais divers	10
	100

1401 — *Minerais d'or de la Guyane française* [2]. — Le métal précieux se trouve, dans les placers, en pépites ou en mouches, au milieu de sables, de graviers et de galets de quartz. Le *prospecteur* emploie, pour explorer le terrain, soit la pipette Bazin [3], soit une sorte de sébile appelée *batée, puruña,* ou *pan*. C'est un vase conique aplati, de $0^m,60$ de diamètre à la base, et $0^m,15$ de hauteur. Cet instrument peut contenir environ 10 kilogrammes de sables, qu'on

(1) Ce tableau est emprunté à l'exemple de la mine de Par Consols, en 1857 (Moissenet, *Annales*, 5e, XIV, 248). Le total de la dépense y montait à 303 francs par tonne de *black tin*, ou 5 fr. 71 par tonne de minerai sortant de la mine.

(2) Desbans. Exploitation de l'or à la Guyane française (*Bull. min.*, 2e, XII, 217). — Décret du 18 mars 1881, relatif à la recherche et à l'exploitation de l'or à la Guyane française.

Comynet. Note sur les exploitations aurifères de Tipnani, Bolivie (*Annales*, 5e, XIII). — Gruner et Harlé. Amalgamation des minerais aurifères dans les provinces autrichiennes (*Annales*, 3e, VI). — Karpinski. Mémoire sur les sables aurifères de l'Oural (*Annuaire* du Journal des mines de Russie, Saint-Pétersbourg, 1840). — Autissier. Mines d'or de la Java de Jadraque, Espagne (*Bull. min.*, 2e, XIII, 125). — Laur. De la production des métaux précieux en Californie. 1862. — Sauvage. Notice sur l'exploitation hydraulique de l'or en Californie, 1876. — Traitement des quartz aurifères dans l'Amérique du Sud (*Génie civil*, III, 22 ; V, 225). — Boutan (*Traité d'exploitation de Callon*, III, 142). — Réaumur. Histoire des rivières et des ruisseaux aurifères de la France (*Mémoires de l'ancienne Académie des Sciences*, 1718).—Daubrée. Mémoire sur la distribution de l'or dans la plaine du Rhin, et sur l'extraction de ce métal (*Annales*, 4e, X, 3). — *Engineering and mining Journal*, 27 mai 1883. — *Scientific American Supplément*, 22 juillet 1884, 7104. — Alfred Lock. Gold; its Occurrence and Extraction. — Habermann. Goldbergbau in Australien. (*Œsterreichische Zeitschrift f. B. u. H.*, 1879, 146 ; 1882, 11). — Goldwäscher in Californien (*ibidem*, 1879, 261). — Gutzkow. Goldscheidung in Californien (*ibidem*, 1882, 615). — Goldseifen Californiens (*ibidem*, 1883, 654).

(3) Tome I, p. 132.

lave à la main, en lui imprimant des mouvements d'oscillation ou de gyration, pour entraîner les parties stériles les plus fines. On trie alors les rochers à la main, on sépare l'oxyde de fer avec un aimant, et l'on recueille l'or au fond. On caractérise la richesse d'un chantier, par la valeur du métal que l'on retire d'une batée.

Si la matière en vaut la peine, on commence une exploitation à l'aide du berceau (n° 1335), du longtom (n° 1335), ou de l'appareil à angles déterminés (n° 1336), pour les petites productions; de l'ingenio (n° 1336), du sluice-boxe (n° 1335), pour les grandes quantités de graviers. Les lavoirs centrifuges Bazin (n° 1348) sont réservés aux sables plus fins. Les résidus des appareils sans mercure sont ensuite terminés à la batée.

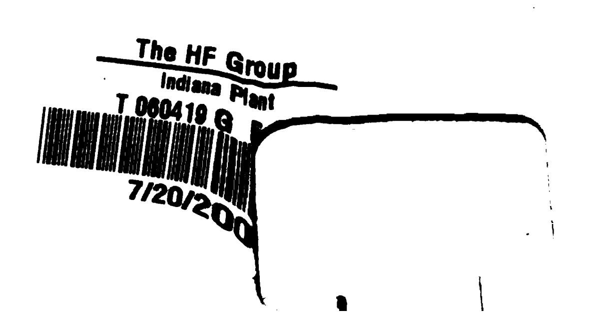
Pour les matières qui ont besoin d'être broyées, on peut se servir du broyeur Bazin (n° 1291), ou d'un pan perfectionné auquel est adjoint une sorte de moulin tyrolien. En Californie, on emploie exclusivement le bocardage à l'eau.

Ces différentes méthodes permettent de traiter, par homme et par jour, les quantités suivantes :

	mèt. c.
Pan	0,20
Berceau	0,80
Longtom	1,50 à 2,00
Laveur hydraulique Bazin	1,00 à 1,50

Si l'on admet, pour le prix de la journée, en Californie, le chiffre de 10 à 15 francs, il est difficile d'abaisser le prix de revient du mètre cube au-dessous de 5 à 10 francs, avec les appareils précédents. La grande production que comporte le sluice-boxe permet, au contraire, de descendre à 0 fr. 25, ou même à 0 fr. 15. Il faut cependant ajouter, pour rester dans le vrai, que les travaux considérables d'établissement que nécessite cette dernière méthode de traitement, pèseront en outre sur le prix de revient, dans une mesure importante, qu'il est impossible de préciser d'une manière générale.




The HF Group
Indiana Plant
T 060419 G
7/20/200